



# **KUITULASERISSA KÄYTETTÄVÄN OPTISEN KUIDUN PINNOITTEEN EHEYDEN MITTAUS**

Reetta Näppi

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Sähkötekniikan  
koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

NÄPPI, REETTA:

Kuitulaserissa käytettävän optisen kuidun pinnoitteen eheyden mittaus

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Toukokuu 2015

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella kuidun pinnoitteen eheyttä tarkasteleva mittalaite. Opinnäytetyö tehtiin yritykselle Corelase Oy, joka valmistaa kuitulasereita optista kuitua käyttäen.

Kuitulaserissa kuituun pumpataan optisesti valoa käyttäen pumppulaseria. Kuidussa valo kulkee pääosin ytimessä ja sitä ympäröivässä kuoressa. Näitä lasiosuuksia ympäröi pinnoite, jonka eheyttä pyritään työssä mittaamaan. Kun pinnoitteessa on vaurio tai aukko, näkyy se sironnan määrän kasvuna, kun valoa karkaa kuoresta.

Opinnäytetyössä tutkittiin valon fysikaalisia ominaisuuksia, kuten taittumista ja heijastumista. Lisäksi työn aikana suunniteltiin ja rakennettiin haluttu mittalaite. Suunnitteluvaiheeseen on sisällytetty Corelase Oy:llä aiemmin rakennettu sirontaa mittaava laite ja siihen liittyvät testit, joilla pyrittiin osoittamaan, että sironnan mittaus kuidusta on mahdollista.

Uuden mittalaitteen rakentaminen jakautui kolmeen osaan: sirontaa mittaavan laitteen rakentamiseen, kuituun valoa syöttävän puolijohdelaserin liittämiseen ja näiden integroimiseen kelalta kelalle -järjestelmään. Rakentamisen jälkeen mittauskokoonpanoa testattiin. Valon sironnan signaalia pyrittiin vahvistamaan omalla operaatiovahvistinkytkenällä. Lopullista signaalia kyettiin seuraamaan tietokoneelta testauspaneelin avulla.

Mittausjärjestelmä toimi osittain: mittalaite kykeni havaitsemaan vain selkeitä sirontapisteitä kuidusta mutta ei niitä mittauspisteitä, joita ei paljaalla silmällä voitu erottaa. Mittausjärjestelmää voi parantaa helpottamalla puolijohdelaserin liitäntää kelan kuituun ja vaihtamalla valoa sellaiseen, jonka numeerinen aukko on suurempi, jolloin valoa siroaa helpommin.

---

Asiasanat: heijastuminen, sironta, optiset kuidut

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Automation Engineering

NÄPPI, REETTA:

Measurement of Coating Integrity in the Optical Fiber used in Optical Fiber Laser

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 6 pages  
May 2015

---

The purpose of this thesis was to design a measurement device for fiber coating integrity. This thesis was made for Corelase Ltd., a company which produces fiber laser solutions using optical fiber.

In a fiber laser, light is optically pumped in the fiber using a pump laser. The light usually travels in the core or in the cladding surrounding it. Over the cladding there is a coating, which is monitored. When the surface of the coating is damaged, the scattering of light will increase as the light escapes from the cladding.

In the thesis, the different physical properties of light, for example refraction and reflection, were examined. In addition, the measurement device was designed and built. During the design process, a previously built measurement device was tested to prove that the concept of measuring scattering is possible.

The construction of the new measurement device was divided into three parts: assembling the scattering measurement device, attaching a single emitting laser diode, and integrating these parts into a reel-to-reel system. After this, the measurement assembly was tested. The signal of the scattered light was supposed to be enhanced using an operational amplifier. The final signal could be tracked from a computer monitor using a testing panel.

The measuring system worked partially: the measuring device could detect clear scattering points from the fiber, but not those measuring points too small to see with the naked eye. The measuring system can be improved by making the attachment of the laser diode easier and using light with bigger numerical aperture, which makes light scatter easier.

---

Key words: reflection, scattering, optic fibers

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KUITULASERIN TOIMINTAPERIAATE.....	6
3	TAUSTATIETOA MITTAUKSELLE.....	9
3.1	Optisen kuidun rakenne .....	9
3.2	Valon syöttö kuituun ja sen sironta kuidusta .....	11
4	MITTAUKSET VANHALLA LAITTEISTOLLA.....	13
4.1	Sironnan mittaus 1: Mittaus hitsausliitoksesta.....	14
4.2	Sironnan mittaus 2: Vaurio kuidun pinnoitteessa .....	16
4.3	Sironnan mittaus 3: Vaurion vakavuuden määrittäminen.....	18
5	UUSI MITTALAITE.....	24
5.1	Suunnittelu .....	25
5.2	Kokoonpano ja testaus .....	27
6	MITTAUSJÄRJESTELMÄ .....	30
6.1	Kuidun siirto kelalta kelalle .....	30
6.2	Puolijohdelaserin liittäminen mittausjärjestelmään .....	31
6.3	Testaus .....	33
6.4	Yhteenvedo testaustuloksista .....	37
7	POHDINTA.....	39
	LÄHTEET.....	40
	LIITTEET.....	41
	Liite 1. Piivalodiodin datalehti .....	41
	Liite 2. Valodiodin kotelon datalehti.....	42
	Liite 3. DAQ-kortin datalehti, yleiskatsaus .....	44
	Liite 4. DAQ-kortin datalehti, yksityiskohtaiset tiedot .....	45
	Liite 5. Puolijohdelaserdiodin datalehti.....	46



## 1 JOHDANTO

Työssä suunniteltiin, rakennettiin ja tutkittiin kuidun sirontaa mittaavaa laitetta ja pyrittiin yhdistämään se toimivaksi mittauskokonaisuudeksi, jossa optisen kuidun pinnoitteen eheyttä voitaisiin mitata.

Corelase Oy on perustettu vuonna 2003 ja vuonna 2007 se siirtyi Rofin Groupille. Corelase Oy:n tehdas sijaitsee Suomessa Tampereella, ja vuonna 2014 siellä työskenteli yli 50 henkilöä.

Kuidun kuntoa päätettiin mitata laitteella, joka mittaa valon optista sirontaa. Mittaustilanteeksi valittiin kelalta kelalle -menetelmä, jolloin kuitua mitattaisiin koko siirtomatkalta. Opinnäytetyö ei keskity kuidun siirtämiseen kelalta toiselle, sillä tähän on jo olemassa toimiva järjestelmä. Sen sijaan tässä työssä perehdytään konseptina mittalaitteeseen ja sen toimintaan kuitua mitattaessa, sekä halutun mittalaitteen rakentamiseen ja testaamiseen.

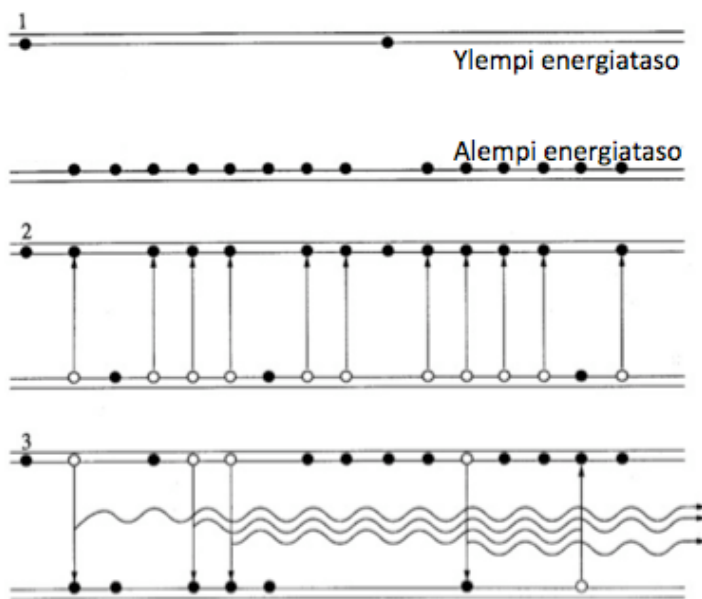
Sironnan mittalaite haluttiin rakentaa, sillä toisinaan kuitu on vaurioitunut jo ennen linjastolla työstämistä. Kuidun vaurioitumisen ennalta havaitseminen estäisi komponenttien hylkäämisen kuituvaurion vuoksi.

Sirontaa mittaava laite tuli suunnitella ja rakentaa siten, että sen osat löytyivät Corelase Oy:n varastosta ja että kuitua kyettäisiin liikuttamaan mittalaitteen lävitse niin monta metriä kuin olisi tarpeen. Opinnäytetyössä ei ole tarkoituksena optimoida kuidun nopeutta mitattaessa, vaan kuitua liikutettaisiin manuaalisesti siten, että sirontatulokset olisivat havaittavissa. Opinnäytetyön tavoitteena on saada aikaiseksi toimiva konsepti liikuvan kuidun pinnoitteen eheyden mittauksesta ja mittaustulosten seuraamisesta.

## 2 KUITULASERIN TOIMINTAPERIAATE

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) on valon vahvistamis- ta käyttäen säteilyn stimuloitua emissiota. Laserissa on säteilyä vahvistava aine ja peilit, jotka muodostavat takaisinkytkennän. Laservalo on lähes monokromaattista eli valon aallonpituuskaista on kapea ja fotonit ovat lähes samanvaiheisia. Laservalo on myös suunnattua ja helppo fokusoida pieneen pisteeseen. (RP Photonics Encyclopedia, laser 2015)

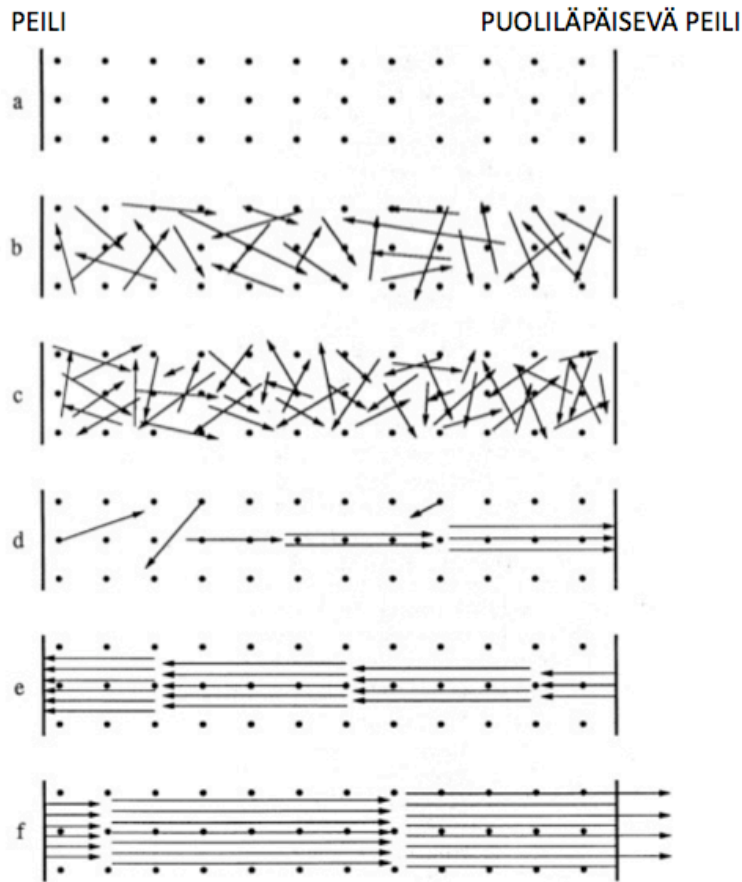
Lasereita käytetään paitsi teollisuudessa myös lääketieteessä ja tiedonsiirrossa. Lasereita voidaan yhdistää muihin laitteisiin, kuten robottiniveiin, jolloin laservaloa voidaan ohjata toivotusti ja tarkasti. Tällaisia tapauksia ovat esimerkiksi laserprinttaukset ja pahvipaketteihin tehdyt katkoviivaleikkaukset. Robotteihin yhdistettynä lasereilla voi myös suorittaa hyvin tarkkoja, siistejä leikkausmalleja metallista, kuten pieniä metalliosia, joissa ei saa olla rosoisia leikkausreunoja. (Corelase Presentation)



KUVA 1. Elektronit siirtyvät tasolta toiselle (Corelase Presentation)

Kuvassa 1 on esitelty, kuinka pumppuvalo varaa elektroneja. Elektronien vapauttama energia synnyttää fotonien liikettä. Elektronit voivat olla kahdella eri energiatasolla, ylempällä ja alemmalla. Elektronit sitovat pumppuvalosta saamaansa energiaa ja siirtyvät ensin alemmalta tasolta ylempälle. Siirtyessään alemmalle tasolle elektronit vapaut-

tavat fotoneita, jotka kulkevat kuidussa kuvan 2 mukaisesti. Tätä kutsutaan emissioksi. Joskus fotonit saattavat varata elektroneja, jotka eivät ole vielä varautuneet, kuten kuvan 1 kolmannessa vaiheessa näkyy. Tätä kutsutaan absorptioksi.



KUVA 2. Fotonien suuntautuminen kuidussa peilin ja puoliläpäisevän peilin välillä (Corelase presentation)

Kuvassa 2 esitellään fotonien liikettä. Kohdassa a fotoneita ei vielä ole liikkeellä. Kohdassa b fotonit ovat alkaneet liikehtimään, mutta ne liikkuvat sattumanvaraisiin suuntiin. Kohdassa c liikkeen määrä ja suuntien määrä kasvaa, kunnes kohdassa d muutama fotoni on lähtenyt kulkemaan kohti peiliä tai puoliläpäisevää peiliä. Kohdassa e ja f fotoneita heijastellaan kahden peilin välissä, kunnes fotonien määrä on tarpeeksi suuri puoliläpäisevän peilin läpäisyyn. Ulostuleva valo on laservaloa, jonka aallonpituuden määrittää puoliläpäisevä peili. (Corelase Presentation)

Kuitulaserin rakenne on kuin kuvan 3 malli, jossa kuituun syötetään pumppuvaloa. Pumppuvalon teho on suurempi kuin ulostulevan laservalon teho. Kuitulaserissa valo muunnetaan toiseksi tietyllä hyötysuhteella. Kuituun tehdyt hitsaukset tai satunnaiset vauriot saavat valon karkaamaan kuidusta, jolloin valon teho laskee. Ulostuleva laserva-

lo on kuitenkin tarkemmin kohdistettua valoa, jolla voidaan tehdä esimerkiksi hyvin tarkkoja leikkauksia metalliin, joihin puhdas pumppuvalo ei kykenisi. Puhdasta pumppuvaloa voidaan käyttää esimerkiksi metallin kovettamiseen, joka ei ole erityisen tarkkaa tai kohdistettua tehoa vaativaa työtä. (Corelase Presentation)



KUVA 3. Kuitulaserin periaate (RP Photonics Encyclopedia, fiber laser 2015)

Lasereiden tuottamat tehot vaihtelevat suuresti käyttötarkoituksen mukaan. Esimerkiksi kotelomerkkauksessa ei tarvita yhtä tehokasta laservaloa kuin alumiinin leikkaamisessa. Laserilla saadaan tehtyä niin tarkkaa ja puhdasta leikkausjälkeä, että metallinpalat voidaan heti leikkaamisen jälkeen hitsata toisiinsa käyttämällä esimerkiksi toisella teholla toimivaa laseria. (Corelase Presentation)

Kuitulasereiden etuja ovat muun muassa hyvä valonlaatu, kompakti koko ja pieni huoltotarve. Kuitulasereita voidaan myös yhdistää toisiinsa, jolloin on mahdollista saavuttaa hyvin korkeita tehoja. (Köngäs, Corelase laser koulutus 2011)

### 3 TAUSTATIETOA MITTAUKSELLE

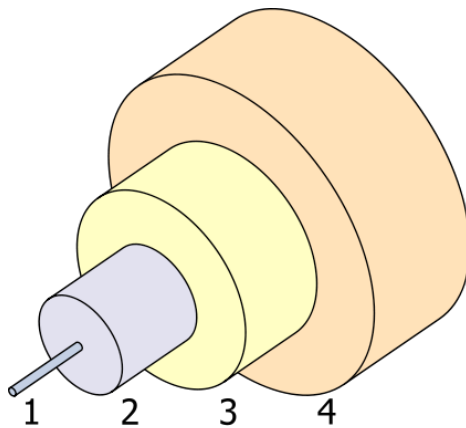
Jotta olisi ymmärrettävissä, miksi sirontaa mittaava laite on tarpeellinen, tulee ymmärtää optisen kuidun rakenne ja kuidun ominaisuudet. Lisäksi tässä luvussa tutustutaan sironnan mittalaitteen mittauseriaatteeseen ja valon fysikaalisiin ominaisuuksiin.

#### 3.1 Optisen kuidun rakenne

Optinen kuitu muodostuu neljästä kerroksesta kuvan 4 mukaisesti:

1. Ydin (core)
2. Kuori (cladding)
3. Primääripinnoite (primary coating)
4. Sekundaaripinnoite (jacket coating) (Köngäs, Corelase laser koulutus 2011)

Pinnoitteet ovat usein pehmeää muovia, joiden tarkoitus on suojata kapeaa kvartsilasista tehtyä kuitua katkeamiselta, naarmuuntumiselta ja lialta. Käytössä voi myös olla vain primääripinnoite.

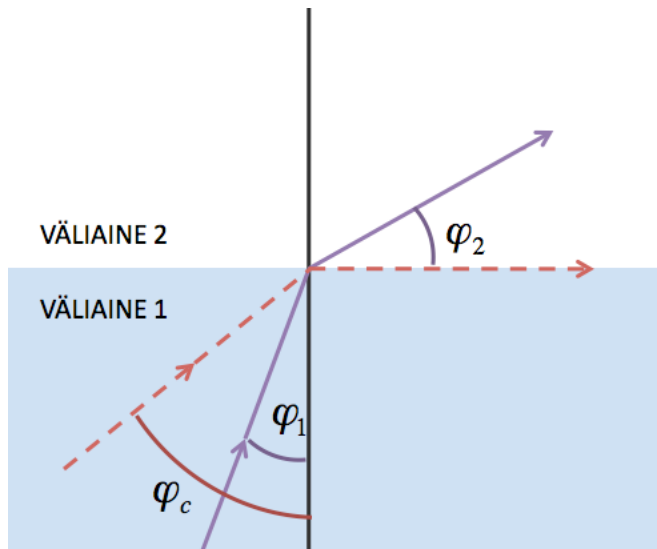


KUVA 4. Kuidun rakenne (Köngäs, Corelase laser koulutus 2011)

Kuidun ydin, jossa valo kulkee, on valmistettu ytterbiumilla seostetusta kvartsilasista. Ytimen ympärillä on puhtaasta kvartsilasista tehty kuori, jonka taitekerroin on pienempi kuin ytimellä. Tällä pyritään pitämään valo kuidun ytimessä kokonaisuutensa avulla. Kuoressa kulkeva valo pysyy lasikuoressa primääripinnoitteen avulla.

Valon taittuminen on fysikaalinen ilmiö, joka syntyy silloin, kun valo kulkee toiseen aineeseen, jolla on eri taitekerroin. Jos taitekerroin on suurempi ja valo kulkee sopivassa

kulmassa, se heijastuu takaisin kulkematta koskaan toiseen aineeseen. Tätä periaatetta kutsutaan Snellin laiksi. Lain mukaan, jos valo kulkee tiheämmästä aineesta harvempaan ja valo tulee rajapintaan riittävän suuressa kulmassa, tapahtuu kokonaisheijastuminen. (Inkinen, Momentti 2 370, 2011.)



KUVA 3. Valon taittuminen tiheämmästä harvempaan aineeseen (Helkama OY, 2001, 17)

Snellin laki määrittää, missä kulmassa valo taittuu osuessaan rajapintaan.

$$n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2, \quad (1)$$

jossa  $n_1$  on väliaineen 1 ja  $n_2$  väliaineen 2 taitekerroin.  $\varphi_1$  ja  $\varphi_2$  ovat valon tulo- ja lähtökulma väliaineiden väliseen poikkiakseliin nähden, kuten kuvassa 3 näkyy. Ydin ja kuori ja pinnoitteet on tehty eri materiaaleja käyttäen, jotta niiden taitekertoimet olisivat sopivanlaiset. Käytössä olevalla kuidulla ytimen taitekerroin on 1,4512, kuoren taitekerroin noin 1,45 ja pinnoitteen taitekerroin noin 1,373. Ilman taitekerroin on noin 1.

Kriittinen kulma on se kulma, jota suuremmassa kulmassa tuleva valo alkaa heijastua takaisin ytimeen kuoreen taittumisen sijaan. Tämä kulma saadaan laskettua kaavaa 2 käyttäen.

$$\varphi_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (2)$$

Tällöin kriittiseksi kulmaksi ytimen ja kuoren välille saataisiin  $87,7^\circ$  ja kuoren ja pinnoitteen välinen kulma on  $71,2^\circ$ . Kun tätä verrataan ilman pinnoitetta olevaan kulmaan, kuoren ja ilman väliseen, joka on  $43,6^\circ$ , voidaan ymmärtää, kuinka valo pääsee poistumaan pinnoittamattomasta kohdasta.

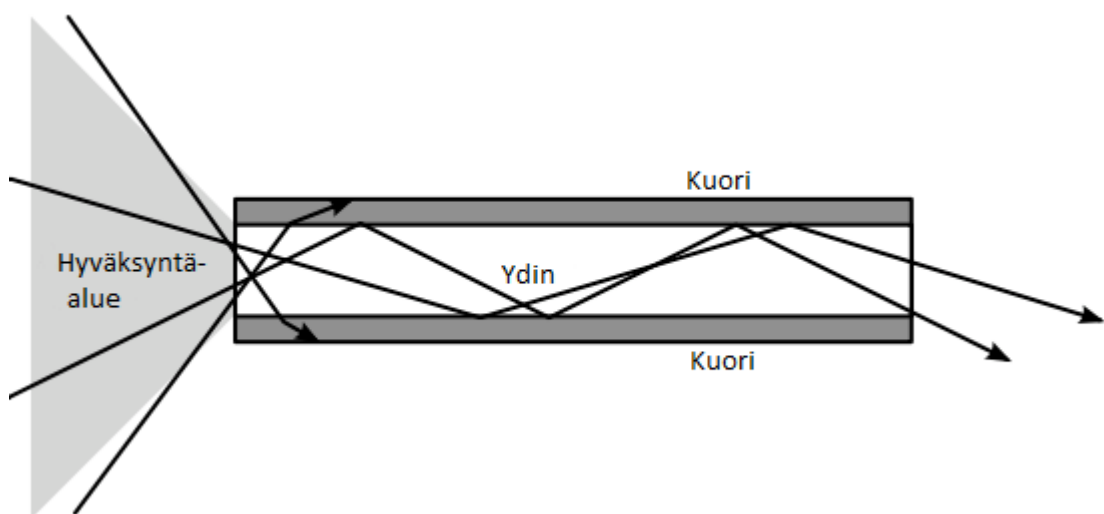
### 3.2 Valon syöttö kuituun ja sen sironta kuidusta

Kun kuituun syötetään valoa, tulee tietää kuidun numeerinen aukko. Numeerisella aukolla kuvataan suurinta kulmaa, jolla kappale voi lähettää tai ottaa vastaan valoa. Numeerinen aukko voidaan laskea kaavalla 3.

$$NA = n \cdot \sin \theta, \quad (3)$$

jossa NA on numeerinen aukko (numerical aperture),  $n$  on väliaineen taitekerroin (ilman taitekerroin on 1) ja  $\theta$  on poikkiakselin ja tulokulman välinen kulma (Köngäs, Corelase laser koulutus 2011). Tämä kulma saadaan myös vähentämällä  $90^\circ$ :sta kaavaa 2 käyttäen laskettu taittumiskulma. Mittauksissa käytettävän kuidun NA on tällöin noin 0,04.

$\theta$ :aa, eli  $2,3^\circ$ , suuremmassa kulmassa tuleva valo ei pysy ytimessä, vaan taittuu ulos kuoreen. Kuoreen taittunut valo taas poistuu kuidusta. Tämä voidaan todeta myös seuraavassa kuvassa 5, jossa näytetään, kuinka numeerisen aukon sallimalta alueelta tuleva valo kulkee kuidun ytimessä, mutta kuinka sen ulkopuolelta tuleva taittuu kuidun kuoreen.



KUVA 4. Valon käyttäytyminen kuidussa ja hyväksyntäalue

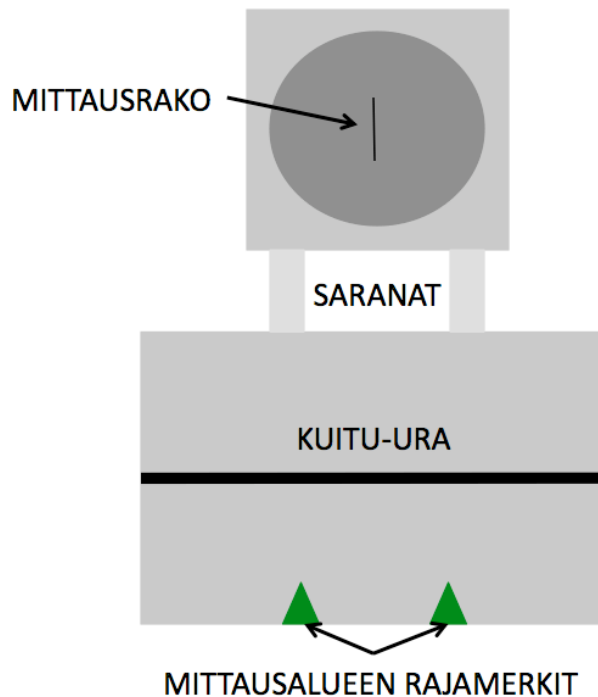
Jos kuoressa on naarmuja, tai se on muuten vaurioitunut tai likaantunut, sirottuu valo kuidussa entisestään. Esimerkiksi metalliroskat kuidussa voivat absorboida siellä kulkevaa valoa, jolloin vauriokohta voi kuumentua. Kuitu voi tällöin vaurioitua entistä pahemmin tai jopa palaa. Jos sirontaa tapahtuu paljon, se heikentää kuidussa kulkevaa signaalia.

Paljaalla silmällä on vaikeaa määrittää, onko kuidun kuoressa tai pinnoitteessa vaurioita tai epäpuhtauksia. Tämän vuoksi on myös vaikea etukäteen määrittää, missä sirontaa tapahtuisi ja kuinka paljon. Kun siirrytään hyvin korkeille aallonpituuksille, puhutaan infrapunavalosta. Tällaista yli 760 nm aallonpituista valoa ei kyetä havaitsemaan paljain silmin lainkaan. Opinnäytetyön testeissä käytetään paikallaan olevassa kuidussa 800 nm:n valoa ja liikkuvan kuidun mittauksissa 915 nm:n valoa.



#### 4 MITTAUKSET VANHALLA LAITTEISTOLLA

Sirontamittarin toimivuutta testattiin käyttäen jo valmiiksi rakennettua mittalaitetta, joka Corelasella oli. Mittarin alaosassa oli kuitu-ura kuidun pitämistä varten ja mittalaitteen yläosassa oli valon määrää mittaava valodiodi mittausraon takana. Saranoiden avulla voidaan kääntää yläosa alaosan päältä kuidun sijoittamiseksi.



KUVA 5. Vanhan mittalaitteen rakenne

Alaosa voitiin vaihtaa alumiinipäällystettyyn tai mustaksi eloksoituun uraan. Eloksoidussa alumiinissa lisätään suojaavaa oksidipinnoitteen paksuutta ja eloksoinnin yhteydessä ollaan alumiini sävytetty mustaksi (Sapa Group). Yläosa liikkui kuidun yllä 2,5 cm matkan ja mittasi tällä välillä intensiteettiä. Mittaustulokset kerättiin yhtiön käytössä olevan LabVIEW -ohjelman avulla. Tämä mittalaite oli käytössä sironnan mittauksen konseptin testaamiseksi. Sitä käyttäen tutkittiin, pystytäänkö kuidusta siroavaa valoa havaitsemaan vauriokohdasta, ja jos kyllä, millaisia vaurioita mittari kykenee havaitsemaan. Mittauksissa kuituun syötettiin pumppulaserista 10 A valoa, jonka teho on tässä mittauksessa käytettävällä pumppulaserilla noin 5,6 W. Valon aallonpituus oli 800 nm, eli se on infrapunasäteilyä. Valoa ei voi teoriassa nähdä paljaalla silmällä, mutta esimerkiksi valokuvassa valo voi näkyä punaisena. Paljaalla silmällä valon tarkastelu voi aiheuttaa vaurioita silmille, joten kaikissa mittauksissa käytettiin suojalaseja.

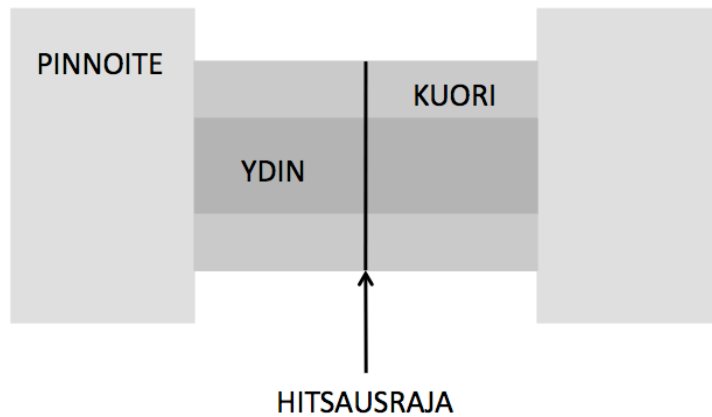


KUVA 6. Liiman poisto kuitu-urasta

Ensimmäiset mittaukset tällä laitteella tehtiin liimaamalla kuitu paikalleen, mutta liimaamisen jälkeen kuitu-ura tuli puhdistaa joka kerta, kun kuitua haluttiin siirtää, kääntää tai muuten liikuttaa. Kuva 6 esittää liimanpoistotilannetta, jolloin poistossa käytettiin etanolia. Myöhemmin päädyttiin käyttämään teippiä mittausalueen ulkopuolella pitämään kuitua paikallaan. Tällöin kuitu ei siirtynyt, mutta saattoi hitaasti kääntyä urassa. Kääntyminen oli kuitenkin niin hidasta, ettei se vaikuttanut suuntariippuvaisuusmittauksiin, mutta se saattoi tahria vauriokohtaa tai vaurioittaa hitsauskohtaa.

#### 4.1 Sironnan mittaus 1: Mittaus hitsausliitoksesta

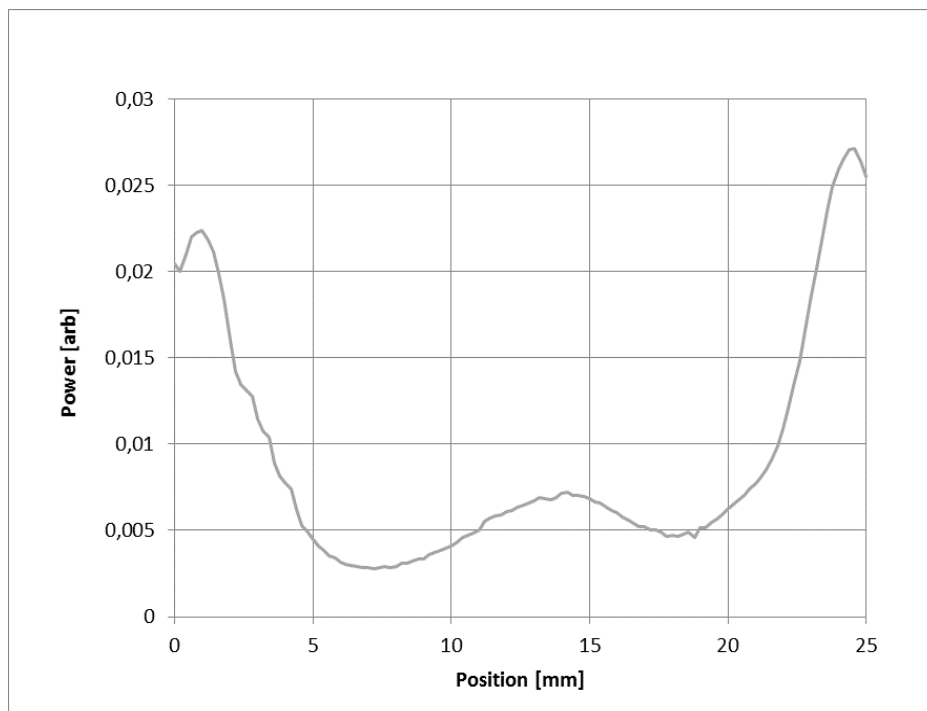
Tässä luvussa selvennetään kuidun mittauksen toimintaperiaatetta ja tarkastellaan, miten sironnan kasvu näkyy. Tämän vuoksi käytetään kahden kuidun hitsausta, jossa sirontaa aiheuttaa taitekertoimen muutos, kun pinnoite on poistettu ja hitsausraja kahden kuidun välissä. Mittausta varten kaksi kuitua oli hitsattu toisiinsa kuvan 7 mukaisesti.



KUVA 7. Kahden samanlaisen kuidun välille tehty hitsaus

Kuitujen päistä oli poistettu pinnoite noin 12 mm matkalta, eli hitsausraja on 12 mm päässä molemmista suunnista kuitujen kuorintareunasta.

Kuitu on puhdistettu ennen mittausta puhtaamman hitsauksen aikaansaamiseksi. Jatkossa kuitua ei tulla puhdistamaan ennen mittausta, sillä näin ei tehdä myöskään kelalta kelalle -siirron aikana. Kuituja hitsattaessa tulisi lasiosat puhdistaa pinnoitteen poiston aikana tulleista epäpuhtauksista, kuten pinnoitteen ylijäämäroskasta, jotta näiden aiheuttama häiriö hitsauksen aikana olisi mahdollisimman pieni.



KUVIO 1. Sironnan mittausta hitsausliitoksesta mustaksi maalatulla kuitu-uralla

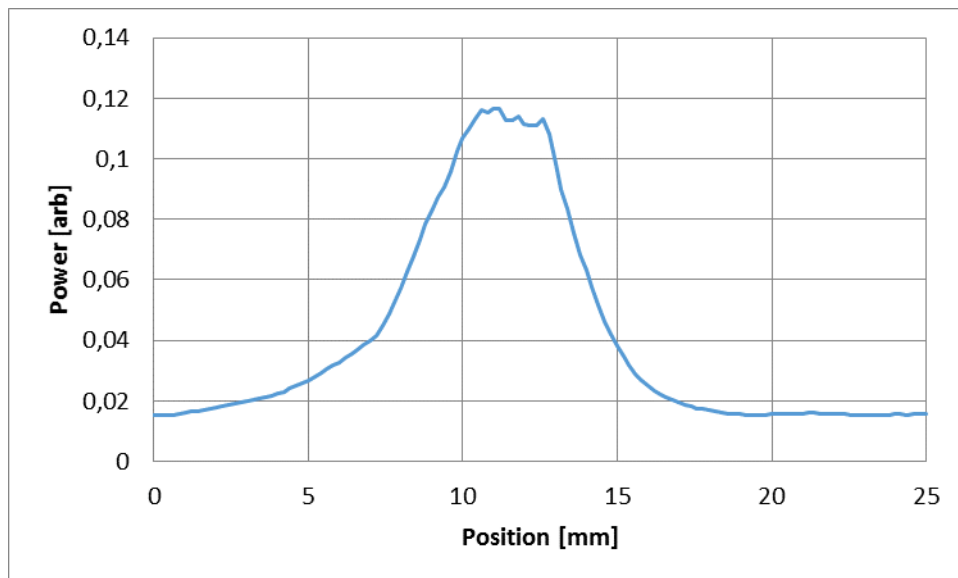
Kuviossa 1 tehon arvoa kuvaava arb on mielivaltainen suhteellinen yksikkö (arbitrary unit).

Voidaan huomata, että tehossa korkeimmat pisteet ovat kuitujen kuorintareunat ja keskellä oleva hitsauspiste. Näissä kohdissa mittalaite on mitannut valomäärän, eli sironnan määrän, kasvaneen. Valoa siis sirottuu paljon silloin, kun kuidun kuorintareuna tulee vastaan, ja silloin, kun lähestytään hitsauskohtaa. Tämä johtuu siitä, että pinnoitteen rajareunassa pinnoitteessa ollut valo pääsee siroamaan. Hitsauksessa kuitujen ytimet eivät osu aivan kohdilleen, jolloin valo pääsee karkaamaan ytimeistä ja edelleen siroamaan kuidusta.

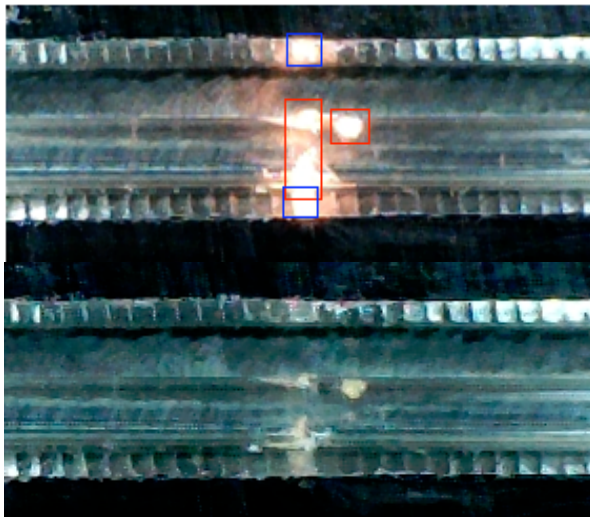
Vertailtaessa sironnan määrää kirkkaalla alumiinipinnalla ja mustalla pinnalla, oli mittauksissa hieman eroavaisuuksia. Lähinnä mittaukset erosivat toisistaan silloin, kun vaurio kuidussa oli alustan puolella. Tällöin alumiinipinta heijasti sirottunutta valoa urassa, josta se heijastui mittalaitteen sensorille. Mustalla pinnoitetussa alustassa ei pintaa päin kohdistetut vauriot olleet yhtä hyvin huomattavissa.

#### **4.2 Sironnan mittaus 2: Vaurio kuidun pinnoitteessa**

Tämä mittaus tutkii kuidun pinnoitteessa näkyviä vaurioita. Mittaustilanteessa käytetään samaa pumppulaseria, tehoarvoja sekä samanlaista kuitua kuin edellisessä mittauksessa. Tehtiin mittaus, jossa kuidun kuoripinnoitteeseen tehtiin vaurio. Tämän jälkeen syötettiin pumppulaserille virtaa ja mitattiin siroavan valon määrä vaurioalueesta. Tällä mittauksella pyritään selvittämään, kykeneekö mittalaite erottamaan kuidun pinnoitteeseen tehtyjä vaurioita.



KUVIO 2. Sirontamittauksessa saatu kuvaaja naarmusta



KUVA 8. Ylemmässä kuvassa voidaan nähdä sirontaa pumppulaserin ollessa päällä ja alemmassa vauriokohta silloin, kun kuidussa ei kulje valoa

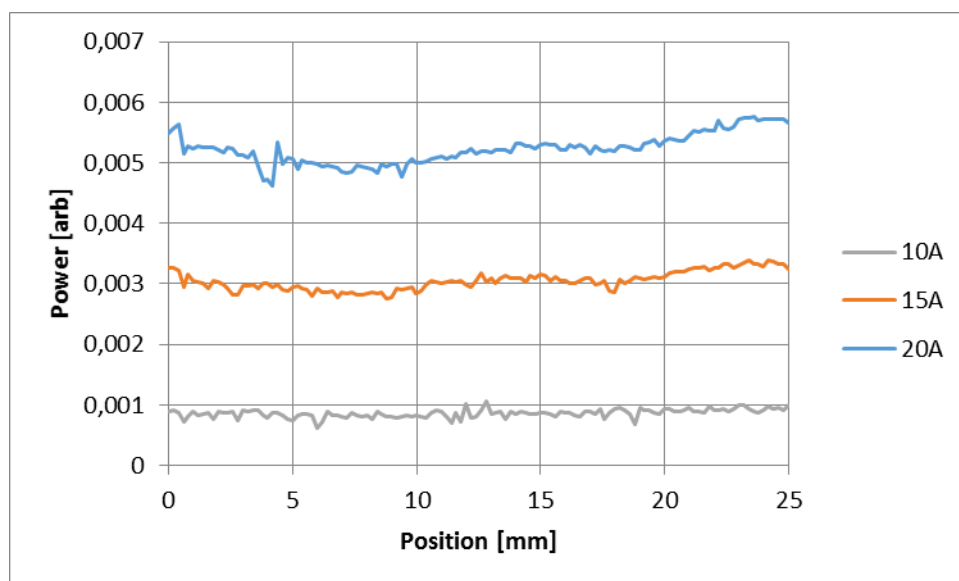
Kuva 8 näyttää mitattavan naarmualueen. Punaisella on merkitty kirkkaimmat sirontakohdat. Kuviossa 2 kohdassa 10-11 on luultavasti kirkkaampana näkyvä vasemmanpuoleinen vaurio ja kohdassa 12-13 sen vieressä näkyvä oikeanpuoleinen vaurio. Kuvasta voidaan nähdä vauriokohdat silloin, kun pumppulaser on päällä ja silloin, kun se ei ole. Kuvaan on myös merkitty sinisillä neliöillä alueet, jotka ovat alumiiniurassa näkyvät heijastukset kuidusta sirottuvasta valosta. Kuvan 8 alemmasta osasta voidaan kuitenkin panna merkille, että vauriot ovat huomattavat, sillä ne kyetään havaitsemaan paljaalla silmällä. Tällaiset tilanteet ovat epätodennäköisempiä kelalta kelalle tapahtuvissa mittauksissa.

### 4.3 Sironnan mittaus 3: Vaurion vakavuuden määrittäminen

Tässä luvussa käsitellään sironnan voimakkuuden vertailua taustasirontaan. Tässä mittauksessa tehtiin siis erilaisia vaurioita ja verrattiin niistä saatuja tuloksia taustasäteilymittauksen tuloksiin. Tutkittiin myös, miten pumppuvalon tehon nostaminen vaikuttaa mittaustuloksiin käyttämällä 10 A:n, 15 A:n ja 20 A:n virtoja. Vauriokohdasta otettiin kamerakuva, jolloin vauriokohtaa voidaan tarkastella verrattuna siitä saatuun sirontakuvaajaan.

#### Taustasäteilyn mittaus

Jotta mittausarvoille olisi vertailuarvo, mitattiin kuitua siten, ettei pinnoitteeseen oltu tehty vauriota. Mittaus tehtiin kahdesti paremman vertailuarvon saamiseksi. Toisesta mittauksesta saatiin kuvion 3 mukaiset tulokset. Kuviosta voidaan nähdä, että taustasäteily on hyvin pientä.



KUVIO 3. Toisen taustasäteilymittauksen tulokset

Näistä mittauksista kirjattiin ylös maksimi- ja minimiarvot mittausalueelta ja näiden suhde. Tätä suhdearvoa voidaan verrata myöhemmin tapahtuvien mittausten suhdearvoon ja näin mahdollisesti määritellä, kuinka vakava vaurio kuidussa on. Tätä arvoa käytetään vertaamaan vaurion laatua. Syy, ettei valon maksimisirontaa voida käyttää, on se, että valon voimakkuus kasvaa sitä suuremmaksi, mitä lähempänä

pumppuvaloa ollaan. Vastaavasti valon maksimisironta heikentyy, mitä kauemmas valonsyötöstä mennään, etenkin jos valoa pääsee karkaamaan kuidusta. Taulukossa ensin kirjataan käytettyjen ampeerien määrä ja tämän jälkeen, oliko kyseessä ensimmäinen vai toinen mittaus numerolla 1 tai 2. Ensimmäisen taustasäteilyn mittauksessa saatiin enemmän vaihtelevia arvoja, joka selittää korkeamman Max/Min -arvon.

TAULUKKO 1. Taustasäteilyn ensimmäisen ja toisen mittauksen tulokset

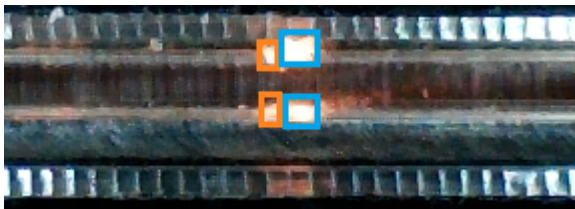
	10 A, 1	15 A, 1	20 A, 1	10 A, 2	15 A, 2	20 A, 2
<b>Max</b>	0.0011	0.0037	0.0063	0.0011	0.0034	0.0058
<b>Min</b>	0.00067	0.0024	0.0043	0.00063	0.0028	0.0046
<b>Max/Min</b>	1.62	1.51	1.46	1.70	1.24	1.25

Kuten toisen mittauksen 15 ja 20 ampeerin tuloksista voidaan huomata, tehon lisäämisellä ei ole mittaustulosten kannalta merkitystä näiden arvojen jälkeen. Maksimi- ja minimiarvon suhde kasvaa virran määrää laskettaessa.

Tämän jälkeen suoritettiin kolme mittausta, joissa kussakin tehtiin erilainen vaurio kuidun pinnoitteeseen.

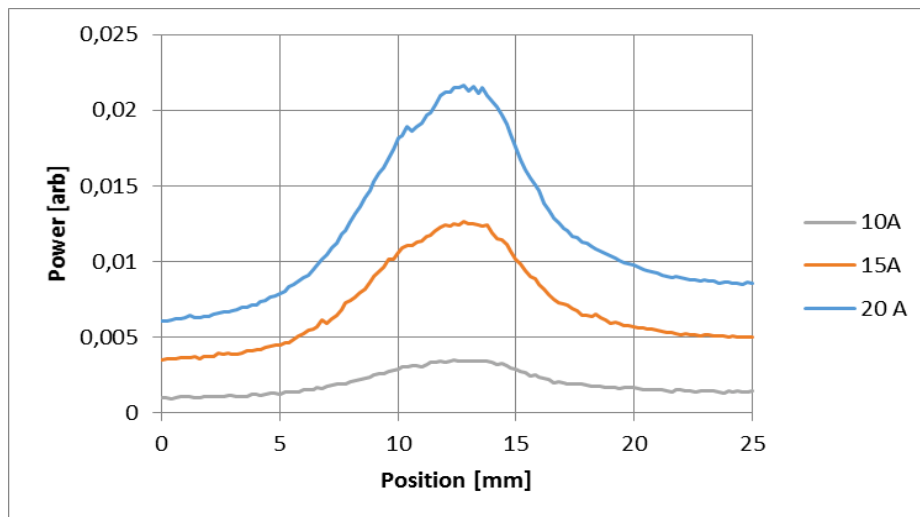
### Ensimmäinen mittaus

Kuidun pinnoitetta vaurioitettiin niin, että vauriojäljen kykeni näkemään paljaalla silmällä. Tehtiin siis selkeä vaurio kuidun pinnoitteeseen.



KUVA 9. Selkeän vaurion vaurioalue kuidussa ja merkityt sirontapisteeet

Kuidussa voidaan nähdä kaksi vauriokohtaa, punaisella on merkitty pienempi, joka kuviossa 4 on suunnilleen kohdassa 10, ja sinisellä isompi, joka on noin kohdassa 13. Urissa voidaan jälleen nähdä hieman heijastumia kuidusta karkaavasta valosta.



KUVIO 4. Vauriokohdan mittauksen tulokset

TAULUKKO 2. Ensimmäisen mittauksen maksimi- ja minimiarvot

	10A	15A	20A
<b>Max</b>	0.0035	0.013	0.022
<b>Min</b>	0.00094	0.0035	0.0061
<b>Max/Min</b>	3.73	3.60	3.57

Tässäkin vaurion maksimin ja minimin suhdearvo pienenee virran kasvaessa, mutta korkeammilla virran arvoilla yhä vähemmän.

### Toinen mittaus

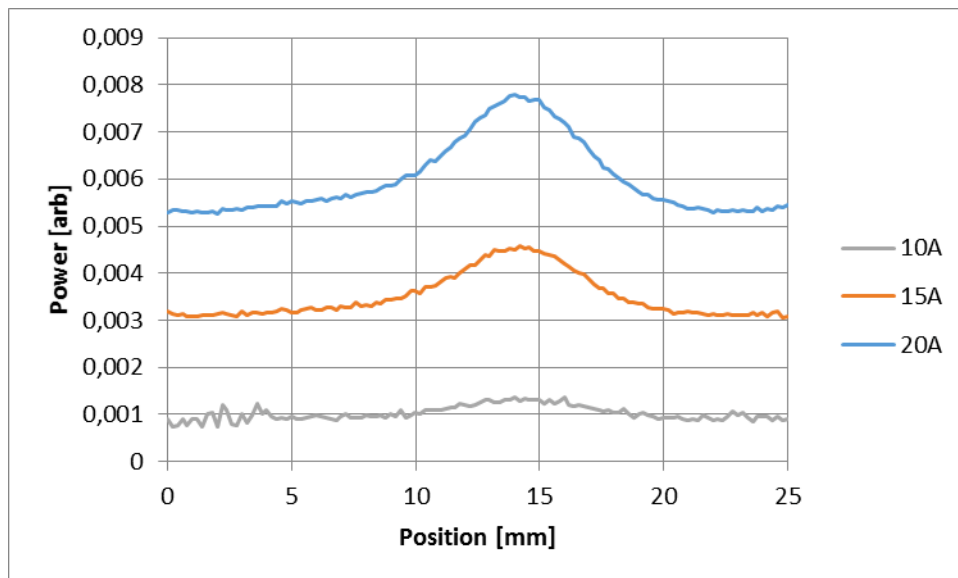
Kuidun pinnoitetta vaurioitettiin niin, ettei sitä voinut nähdä paljaalla silmällä silloin, kun kuituun ei syötetty valoa.



KUVA 10. Pienen vaurion jälki näkyi selkeästi, kun kuituun syötettiin valoa

Tätä vauriota ei enää voitu havaita silmällä, minkä vuoksi on toivottavaa, että se voitaisiin huomata sirontamittauksessa.





KUVIO 5. Vauriosta mitattu sironta

Tässä ei voida sanoa, mikä kuvan 10 kohdista voisi esittää kuvion huippuarvoa kohdassa 14. Luultavasti kyseessä on kuvan 10 oikeanpuoleinen vaurio. Kuviosta voidaan kuitenkin nähdä vauriokohdassa tapahtuvan sirontaa, jota ei voida silmällä havaita, eli kyseinen mittalaite toimii toivotusti.

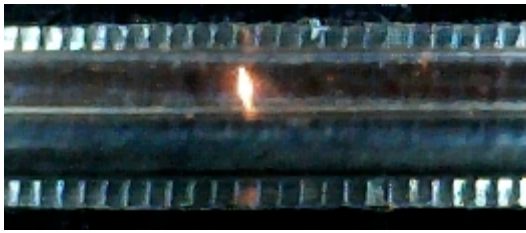
TAULUKKO 3. Toisella vaurioalueella mitatut maksimi- ja minimiarvot

	10A	15A	20A
<b>Max</b>	0.0014	0.0046	0.0078
<b>Min</b>	0.00073	0.0031	0.0053
<b>Max/Min</b>	1.87	1.49	1.48

Maksimi- ja minimiarvojen suhteutuksessa ensimmäisen taustasäteilyn sironta on lähes yhtä suurta kuin vauriokohdassa. Arvo on kuitenkin hieman taustasäteilyä suurempi. Tästä vauriosta siis siroaa vähemmän valoa kuin ensimmäisen mittauksen vauriosta.

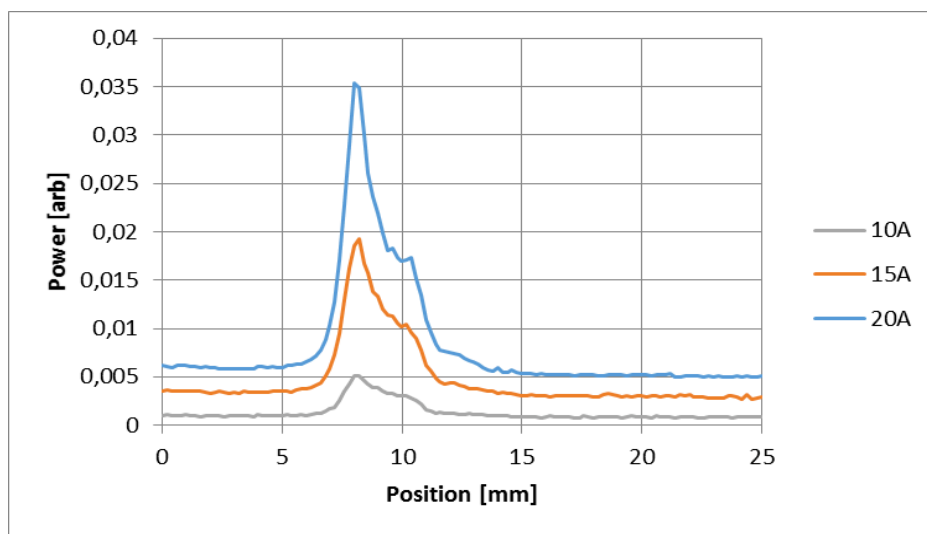
### Kolmas mittaus

Kuidun pinnoitteeseen tehtiin syvä viilto, joka meni lasiosuuteen asti. Vaurio ei ollut nähtävissä paljain silmin, mutta se näkyi selkeästi, kun pumppulaserille annettiin virtaa.



KUVA 11. Viiltovaurion sironta, kun kuituun syötetään valoa

Kuvassa 11 näkyvän viillosta siroavan valon määrä voidaan nähdä kuviossa 6. Sironta-alue on hyvin kapea, mutta koska viilto on tehty kuoreen asti, vuotaa valoa suoraan kuoresta. Sironnan määrä on siis suurempi kuin silloin, kun siroava valo tulee pinnoitteesta.



KUVIO 6. Viillosta mitattu sironnan määrä

TAULUKKO 4. Viiltovaurion mittauksen maksimi- ja minimiarvot

	10A	15A	20A
<b>Max</b>	0.0051	0.019	0.035
<b>Min</b>	0.00076	0.0027	0.0049
<b>Max/Min</b>	6.75	7.26	7.18

Tässä suhdearvo on selkeästi suurin, eli vaikka sirontaa tapahtuu vain pienellä alueella, on vaurio hyvin merkittävä.

## Yhteenveto

Seuraavaan taulukkoon 5 on koottu edeltävien mittausten tulokset, kun pumpulle on syötetty 20 ampeeria.

TAULUKKO 5. Mittaustulosten vertailua 20 A:n virransyötöllä

	Taustasäteily 1	Taustasäteily 2	Ensimmäinen mittaus	Toinen mittaus	Kolmas mittaus
<b>Max</b>	0.0063	0.0058	0.022	0.0078	0.035
<b>Min</b>	0.0043	0.0046	0.0061	0.0053	0.0049
<b>Max/Min</b>	1.47	1.25	3.57	1.48	7.18

Ensimmäisessä taustasäteilymittauksessa tapahtuvat häiriöt saavat sen arvot vaihtelevaan hieman enemmän kuin toisen, jolloin sen maksimin suhde minimiin on tietenkin suurempi. Kun näiden mittausten huippuarvojen suhteita verrataan muihin mittauksiin, huomataan ensimmäisen ja kolmannen mittauksen arvojen suuruus. Näissä kohdissa on siis ollut huomattava vaurio.

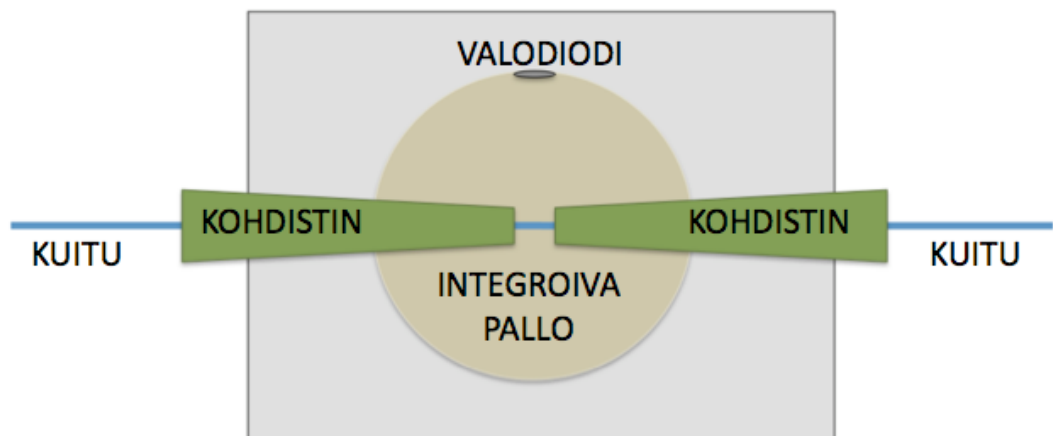
Toisen mittauksen suhdearvo on miltei sama kuin ensimmäisen häiriömittauksen, mutta tämä vaurio oli myös sellainen, jota ei voitu paljaalla silmällä kuidusta erottaa ilman pumppuvaloa. Nämä ovat sellaiset vauriokohdat kuidussa, joita seuraavaksi rakennettavan mittalaitteen toivottaisiin havaitsevan.

Kaikista selkein oli kolmannen mittauksen viiltovaurio, jossa pinnoite rikottiin kokonaan lasin pinnalta. Tämä on hyvä osoitus pinnoitteen eheyden tärkeydestä.

## 5 UUSI MITTALAITE

Tähänastisissa mittauksissa on käytetty jo aiemmin Corelase Oy:lla kokoonpantua mittalaitetta. Tässä luvussa selostetaan sellaisen mittalaitteen suunnittelu ja rakennus, jonka pitäisi kyetä havaitsemaan vaurioita kuidussa kuidun liikkua sen läpi. Mittalaitteella mitataan valon intensiteettiä, jonka avulla voidaan määrittää kuidun eheys. Koska ei haluta käyttää yhtä suuritehoista valoa kuin edellisen luvun mittauksissa, valitaan uusi valonlähde. Valon aallonpituus on siksi tässä luvussa tehtävissä mittauksissa 915 nm, kun se edellisessä pumppuvalossa oli 800 nm.

Säteilymittarin on tarkoitus havaita kuidusta pakenevaa valoa. Seuraava kuva 12 havainnollistaa seuraavan mittarin rakennetta. Keskellä kuvaa kulkeva sininen viiva kuvaa kuitua. Kuitu kulkee kohdistimien kautta pyöreään kammioon, integroivaan palloon, josta valon sironnan määrä mitataan. Kammion yläosassa on mittarin valodiodi, joka toimii valonilmaisimena. Tässä siis mittalaite pysyy paikallaan ja kuitu liikkuu mittarin läpi.



KUVA 12. Mittarin rakenne

Integroiva pallo tasoittaa valon tasaisesti ympäri pallon pinnan, jolloin valon määrä heikkenee, mutta kyetään havaitsemaan säteilypisteitä, jotka muuten olisivat valodiodille näkymättömissä. Valo heijastelee kammiossa, jolloin voidaan taata, että kuidussa tapahtuva sironta saadaan mitattua riippumatta sirontapisteen aseman suhteesta mittalaitteen valodiodin asemaan. Kohdistimien etäisyyden avulla voidaan säätää haluttavan mittausikkunan kokoa, mutta niiden asettelussa tulee huomioida kohdistimien aiheutta-

ma este heijastumille integroivassa pallossa. Kohdistimet valmistettiin 3D-printtauksella muovista.

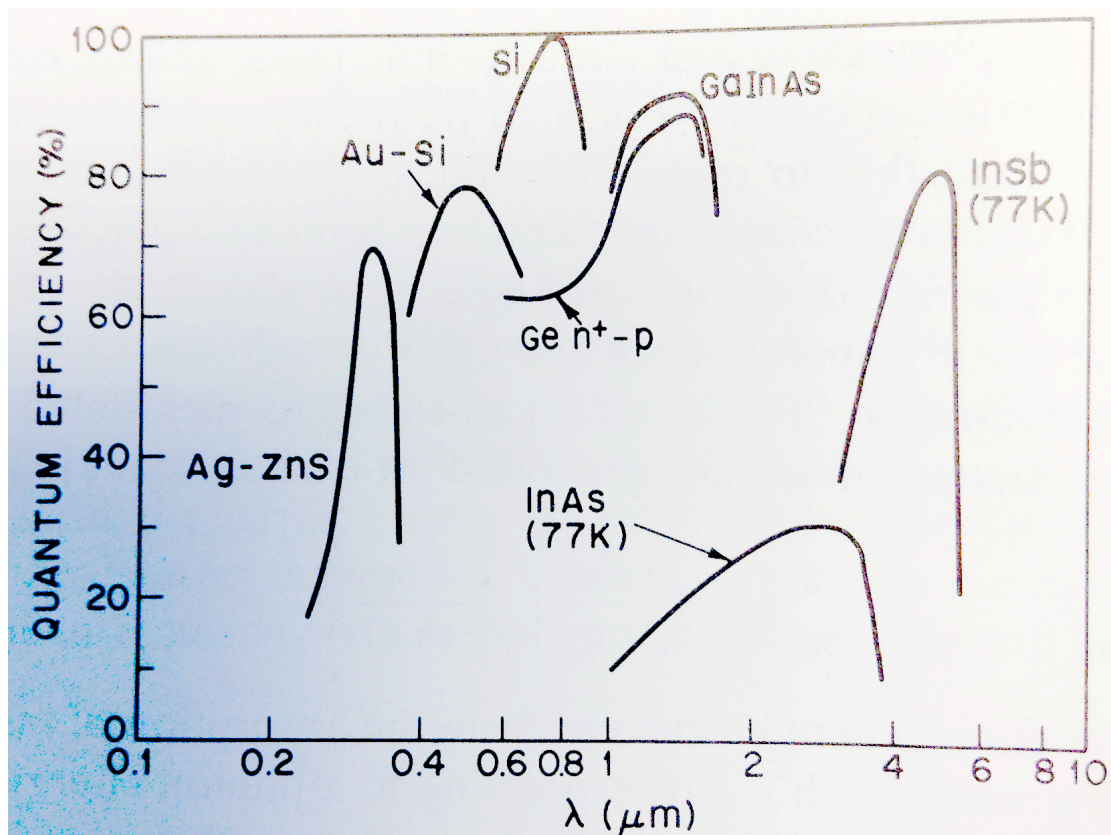
## 5.1 Suunnittelu

Mittalaite rakentuu seuraavanlaisesti:

1. Valodiodilta lähtee virtaviesti
2. Vahvistimen ja vastuksen avulla virtaviesti muutetaan jänniteviestiksi, jota valittu tiedonkeruukortti eli DAQ-kortti (Data Acquisition) osaa tulkita
3. DAQ-kortilta luetaan tiedot
4. Tietokone esittää luetut tiedot kuvaajana ajan suhteen

### Valodiodi ja sen valinta

Valon intensiteettiä mitataan valodiodilla. Koska kukin valodiodi toimii eri tavoin riippuen valon aallonpituudesta, voidaan valinnan apuna käyttää kuviota 7.

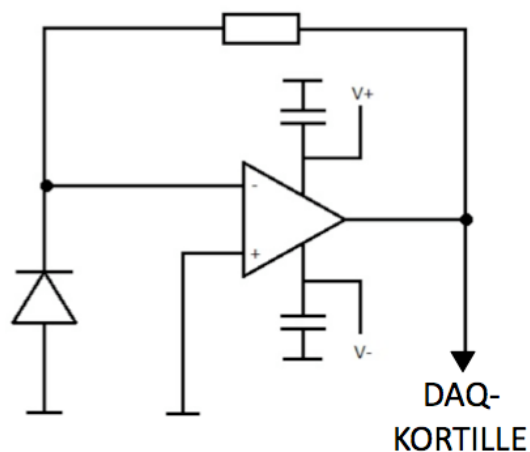


KUVIO 7. Valodiodin riippuvuus valon aallonpituudesta (Sze, 1985, 282)

Mittauksissa käytettiin 910 nm valoa, joten valodiodina käytetään Si- eli piivalodiodia, jonka responsiivisuus kuvion 7 mukaisesti tehokkain tällä aallonpituudella. Tässä mittalaitteessa käytetään mallia BPX65, jonka datalehdessä voidaan nähdä valodiodin vaste-kuvaaja (LIITE 1, Spectral Response Graph).

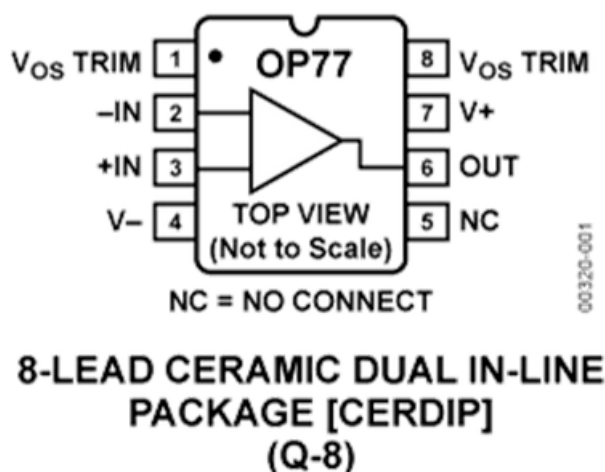
### Vahvistimen kytkentäkaavion suunnittelu ja osien valinta

Vahvistinta varten suunniteltiin kytkentäkaavio, jota voitaisiin soveltaa kytkentälevylle. Seuraavassa kuvassa 13 voidaan nähdä kytkentäkaavio, jonka suunnittelemiseen ja vastuksen suuruuden määrittämiseen käytettiin apuna operaatiovahvistinkirjaa (Stout, 1976, 4-14).



KUVA 13. Suunnitelma valodiodin vahvistukselle. Valodiodi vasemmalla

Operaatiovahvistimen negatiiviseen sisääntuloon on kytketty valodiodi. Operaatiovahvistimena käytettiin OP77:sta, jonka teho oli noin 50 mW. Kuvasta 14 voidaan nähdä kahdeksanjalkaisen, suorakulmion muotoisen operaatiovahvistimen kytkentäpinnit. Vastuksena käytettiin 100k $\Omega$ :n vastusta.



KUVA 14 Operaatiovahvistimen kytkentäpinnien toiminnot (Analog, 4.3.2015)

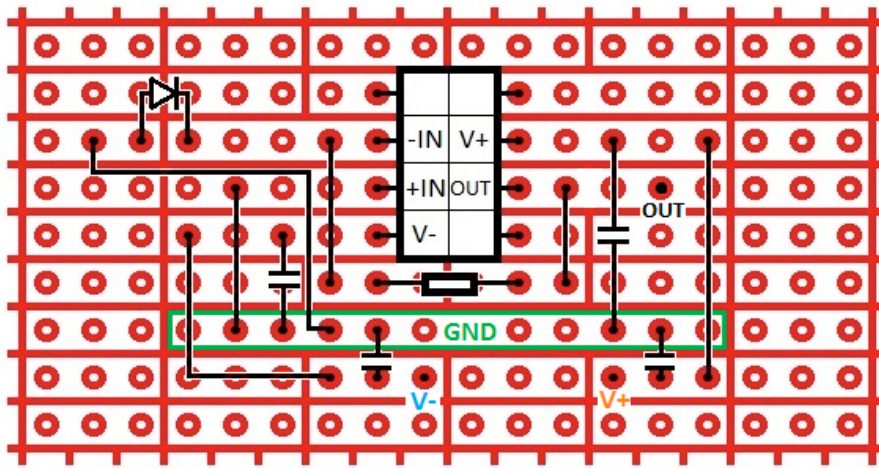
Jännitteen syötön positiivinen napa on pinnissä 7, ja negatiivinen napa pinnissä 4. Näiden napojen rinnalle kytketään kuvan 13 mukaisesti kondensaattorit, jotka vakauttavat vahvistimen jännitteensyöttöä mahdollisten virtapiikkien varalta.

### DAQ-kortti

Yritys tarjosi opinnäytetyötä varten NI USB-6009 DAQ-kortin. Sekä kortin tulot että lähdöt olivat jännitteinä, joiden jännitealueet voidaan nähdä liitteenä 3 olevasta datalehdessä.

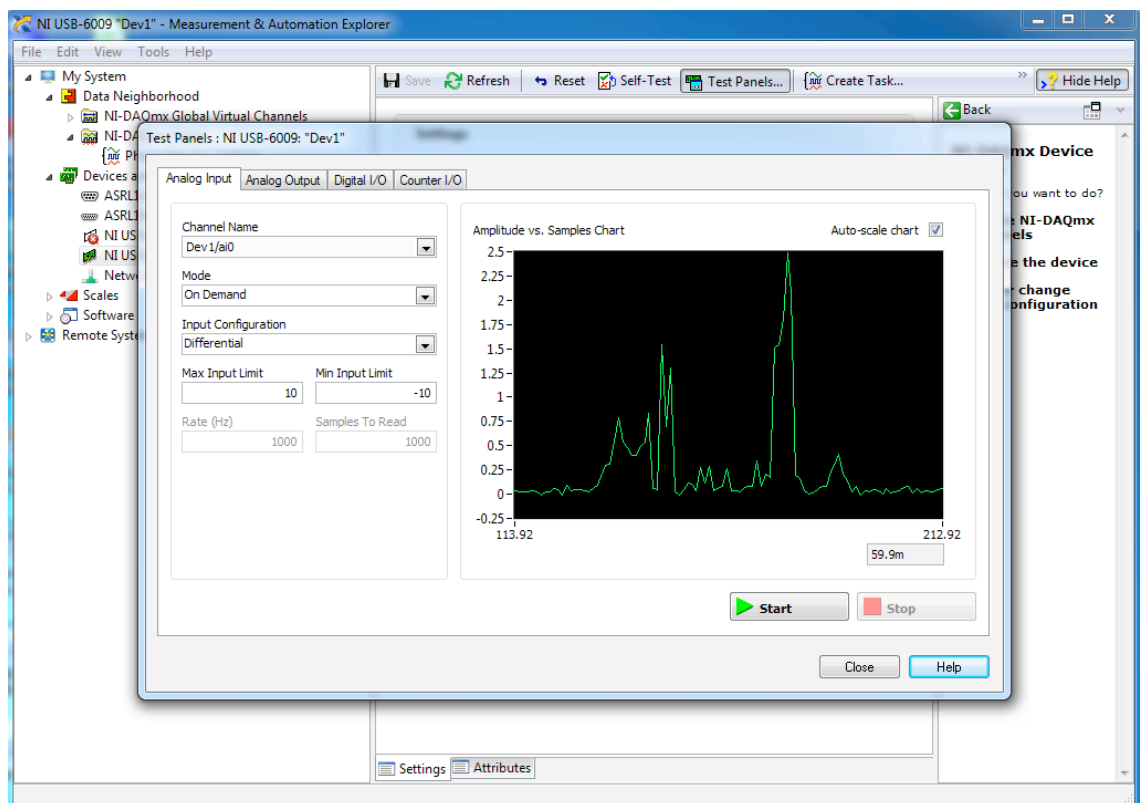
## 5.2 Kokoonpano ja testaus

Operaatiovahvistimen kytkentä rakennettiin kytkentälevylle, jossa kytkentäpisteet oli kolmen ryhmissä. Kolmella pisteellä oli siis sama jännite. Jos useampia ryhmiä haluttiin yhdistää, oli ryhmien välille vedettävä johdin tai ryhmien välille oli juotettava silta.



KUVA 15. Valmis kytkentä kytkentälevylle

Kuvan 13 kytkentäsuunnitelmaa apuna käyttäen, toteutettiin kytkentä juottamalla komponentit kytkentälevylle kuvan 15 mukaisesti. Kuvan pisteryhmät on rajattu punaisilla rajaviivoilla. Vihreällä merkitty alue kuvaa maadoituspistettä. Testissä miinusjännitteeseen syötettiin -9 voltia ja plusjännitteeseen 9 voltia. Testin aikana mitattiin ulostulevaa jännitettä maahan verrattuna. Kuva 16 esittää valodiodista saatuja mittaustuloksia DAQ-kortin välittämänä tietokoneelle.



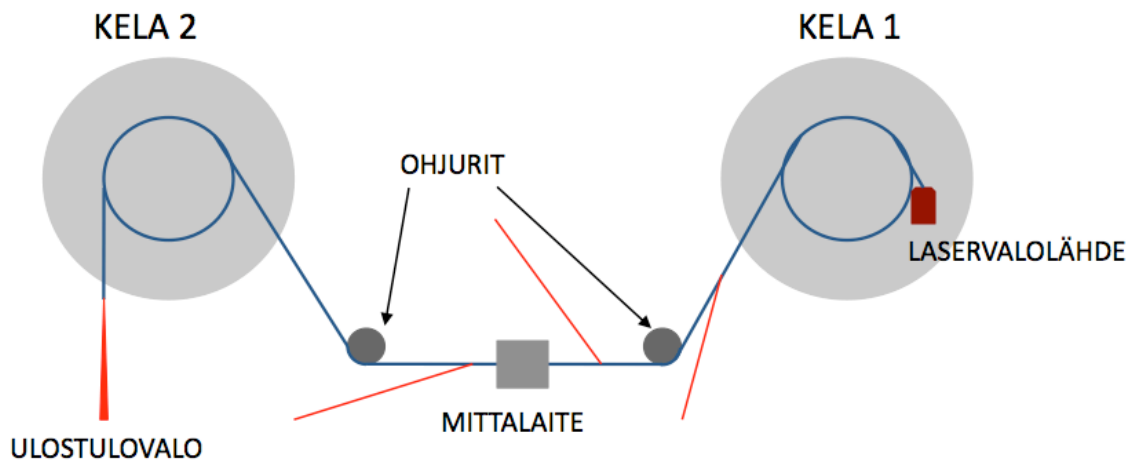
KUVA 16. DAQ-kortin testauspaneeli, johon valodiodin mittaustiedot välittyivät



Kuvassa mitattu amplitudi kasvaa aina, kun valodiodi mittaa valon määrän kasvaneen. Testissä valodiodi altistettiin vaihtelevissa määrin taskulampun valolle. Mittauksissa käytettiin Auto-scale -valintaa, jolloin y-akseli määräytyi mittaustietojen mukaiseksi. X-akselilla mitataan näytteiden määrää. Oikeassa mittaustilanteessa sironnan määrä ei kasva yhtä paljon kuin kuvan 16 korkeimmassa piikissä, sillä kuvan mittauksessa suuri määrä valoa kohdistettiin suoraan diodille. Normaalissa mittaustilanteessa kuidusta vuotava valomäärä on hyvin pieni.

## 6 MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Kun mittalaite oli rakennettu, suunniteltiin mittausjärjestelmä. Mitattavaksi tavaksi valittiin kuidun tarkastelu sitä siirrettäessä kelalta kelalle. Kelassa 2 on kelauskampi, jolla kuitua vedetään kelalta 1.



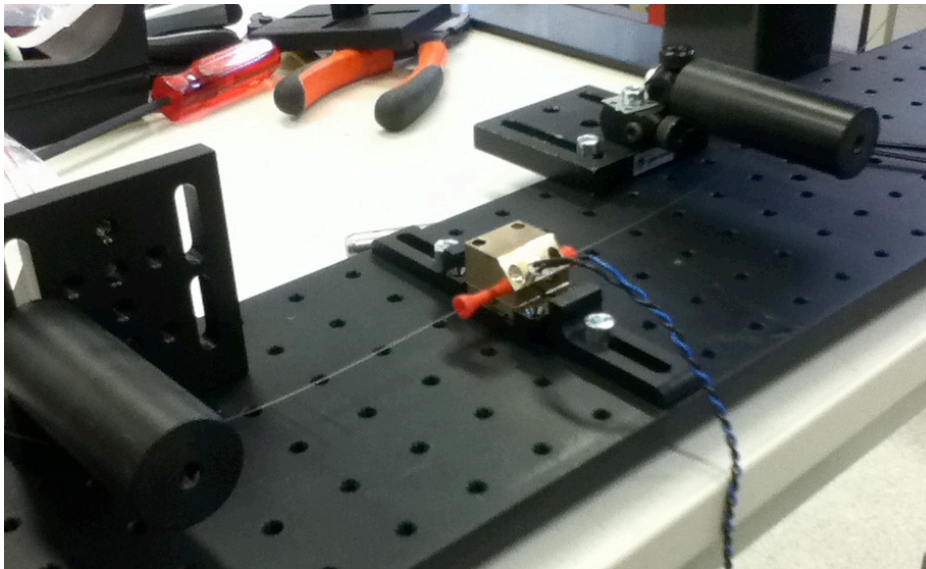
KUVA 17. Mittaustilanne, jossa kuitukelojen välissä on mittalaite

Kuituun syötettäisiin valoa kelalta 1. Valo kulkee kuitua pitkin sirottaen valoa kohdista, joissa pinnoite on vaurioitunut (kuvassa merkitty punaisella). Koska kuidussa tapahtuu jatkuvaa valon karkaamista siirron muodosssa, voimistuu mittaussignaali jatkuvasti, kun lähestytään valolähdettä.

### 6.1 Kuidun siirto kelalta kelalle

Koska on jo olemassa laite, joka pyrkii siirtämään kuitua kelalta toiselle automaattisesti, käytetään tässä opinnäytetyössä manuaalista kelalta kelalle siirtojärjestelmää. Kelalla 2 on kampi, jota pyörittämällä saadaan aikaiseksi kuidun veto. Kampeen on liitetty laskuri, joka laskee kierrosten määrää. Yksi kierros vastaa noin 50 cm:ä.

Keloilta kuitu ohjataan alas kuvan 16 mukaisilla ohjureilla, joiden väliin mittalaite on asetettu.



KUVA 18. Sirontamittarin asettelu

Kelan 1 kuituun kytketään kiinni puolijohdelaser, joka syöttää noin 915 nm aallonpituudella valoa.

## 6.2 Puolijohdelaserin liittäminen mittausjärjestelmään

Puolijohdelaserin jännitteensyöttö tuli suunnitella siten, että kela, johon laser olisi kiinnitettynä, ei häiriintyisi tästä. Päädyttiin käyttämään akkua, jolloin kela pystyisi pyörimään vapaasti. Puolijohdelaserin datalehdestä (liite 5) voidaan nähdä, ettei jännitteensyöttö saa olla suurempi kuin 1,9 voltia, joten käytettiin akkua, joka syöttäisi laserille 1,6 voltia. Akun kesto oli 2500 mWh. Akkua varten ostettiin kaksiasentokytkin, jolla säädellään laserin virransaantia, ja AA-kokoa oleva paristokotelo.

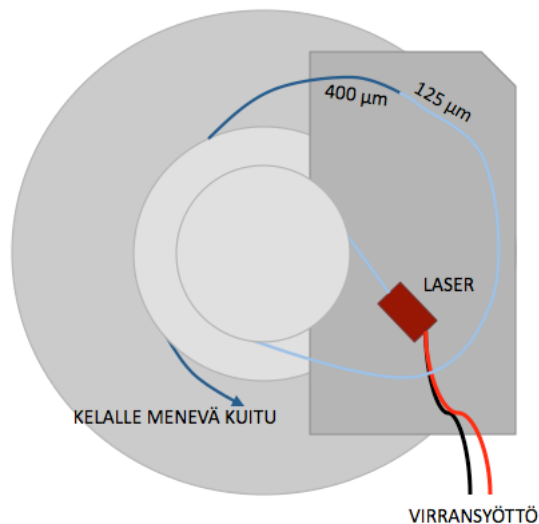
Koska laservalo ei ole silmille turvallista, käytettiin mittauksen aikana suojalaseja. Suojalasien läpi ei voi nähdä kuituun kytkettyä valoa, joten testauksen vauriokohdat merkittiin tussilla. Akun positiiviseen napaan kytkettyyn johtimeen kytkin, jolla puolijohdelaserin jännitteensyöttö saadaan tarvittaessa katkaistua.

Puolijohdelaser on suhteellisen pienitehoinen laser. Datalehdestä (liite 5) voidaan todeta, että kun laserille syötetään 1,6 voltia, käyttää se 2 A:n virtaa. Tällöin se tuottaa valoa, jonka teho on 2 W. Kuitenkin puolijohdelaser lämpenee valoa tuottaessaan, minkä takia se kiinnitettiin piiliimaa ja ruuvikiristeistä levyä käyttäen metallilevyyn, joka toimi jäähdytyslevynä laserille. Tämä jäähdytyslevy kiinnitettiin ruuveilla kelan muoviin.

Tämän lisäksi tuli suunnitella kytkentä kahden eripaksuisen kuidun välillä. Puolijohde-laserista lähtevä kuitu oli lasipaksuudeltaan vain 125  $\mu\text{m}$ , kun taas kelan kuitu oli noin 400  $\mu\text{m}$ . Ytimen paksuus molemmissa kuiduissa oli 60  $\mu\text{m}$ .

Aluksi käytettiin hapolla kapeammaksi syövytettyä, eli etsattua, 400  $\mu\text{m}$  kuitua, jonka pää oli syöpynyt noin 125  $\mu\text{m}$ :n paksuuteen. Tämä kappale olisi toiminut adapterina näiden kahden kuidun välillä. Tällöin valon NA kuitenkin pieneni, jolloin valo ei sironnut kuidusta yhtä helposti, joten adapteri poistettiin.

Tämän jälkeen hitsattiin nämä kaksi kuitua keskenään. Tällöin hitsauskohta on hyvin hauras, mutta valon NA taas kasvaa hieman.



KUVA 19. Lopullinen kiinnitysmalli, kuidun paksuudet merkitty kuvaan

Kuvassa 19 on kela, jonka kylkeen on kiinnitetty jäähdytyslevy ja kaksi kuituja varten rakennettua pyöreää uraa. Kuidut kulkevat keskiosassa olevien urien kautta, ohuempi kuitu säteeltään pienemmän ja paksumpi isomman uran kautta. Tällöin ylimääräiset kuitumetrit saatiin suojattua mittauksen aikana. Kuitujen välinen hitsaus asetettiin lasilevyille, jotta hitsausta voisi tarpeen tullen jälleenasetella. Lasilevy kiinnitettiin teipillä jäähdytyslevylle. Laserin virransyötön johtimet kulkevat kelan sisälle, jossa ne kytkeytyvät kytkimen kautta paristokoteloon.

### 6.3 Testaus

Testaus suoritettiin tutkimalla kuituun tehtyjä vaurioalueita 1, 2 ja 3. Kuitua kelataan mittarin läpi edestakaisin vaurioalueen kohdalla, ja tutkitaan, kuinka nopeasti kuitua voi kelata. Mittauksen tuloksia voidaan tarkastella näytöltä, johon sironnan määrä luetaan DAQ-kortin avulla.

Ennen kuin mittaukset saatiin tehtyä, huomattiin puolijohdelaserin tehon sytyttävän kuidun pään palamaan. Tämä johtuu siitä, että ulostulokohta, tässä tapauksessa lasikuidun pää, kuumenee niin paljon, että se kuumentaa myös ympärillään olevaa pinnoitetta, joka taas syttyy palamaan. Tätä voidaan ehkäistä kuorimalla kuidun pinnoitetta 5 mm, jolloin kuidun lasiosan pään kuumentuminen ei aiheuta pinnoitteelle liiallista kuumenemista.

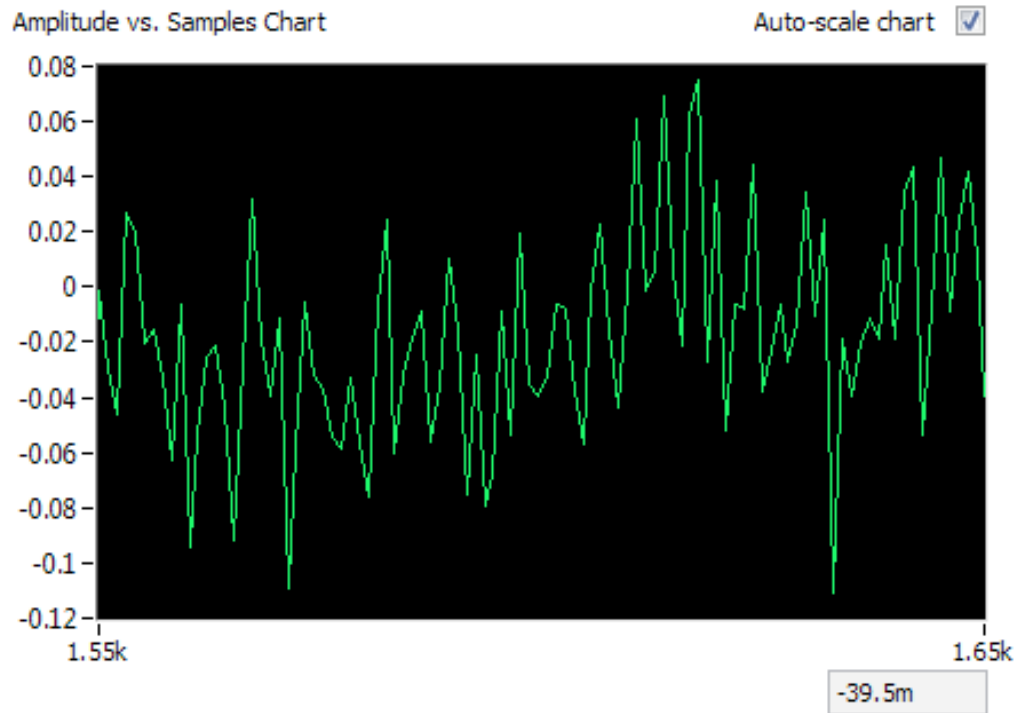
Jotta ulostuleva valo siroaisi eikä vahingossa polttaisi mitään muuta, kuidun päähän liimattiin kapea lasiputki, eli lasikapillaari. Kapillaaria oli hiekkapuhallettu pinnasta, jolloin se sirottaisi siihen kohdistuvan valon. Liimaamisessa käytettiin PC 375-liimaa, jonka taitekerroin on 1,375.

#### Ensimmäinen vaurioalue

Ensimmäinen vaurio on tehtyä kaikista vakavimmaksi, jotta se olisi myös kaikista helpoin havaita.

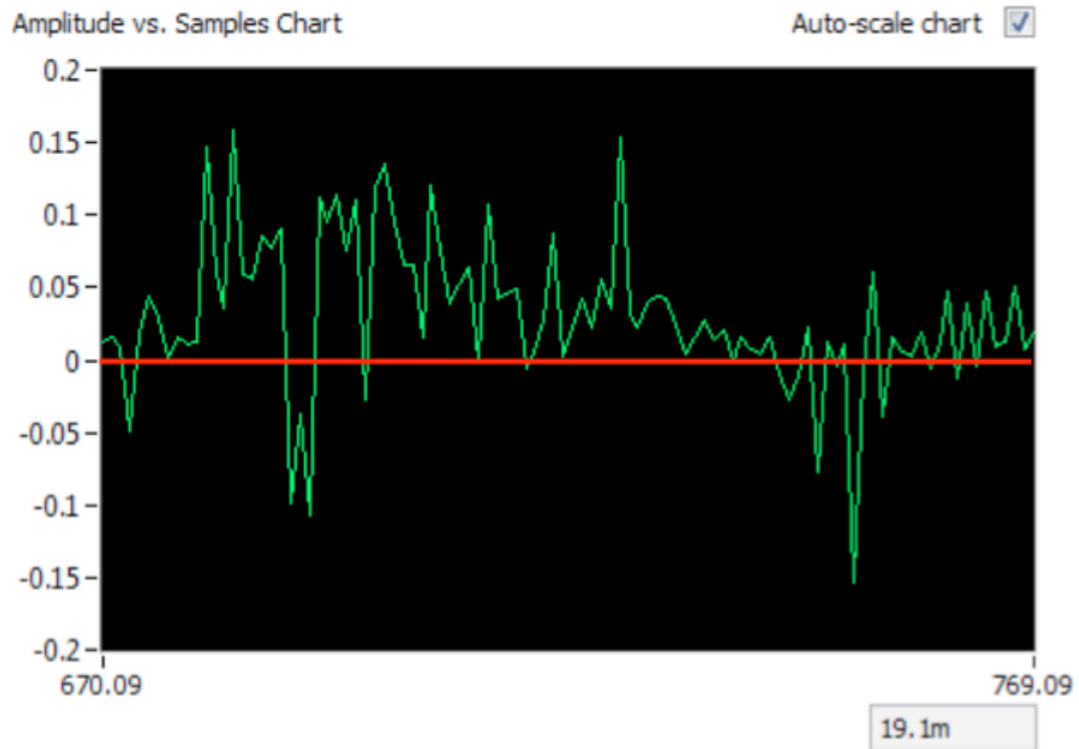


KUVA 20. Ensimmäinen vaurioalue, jossa kuidun pinnoitetta vaurioitettiin paljon



KUVA 21. Signaali operaatiovahvistimen kanssa vauriokohdasta

Operaatiovahvistin vahvistaa myös taustakohinaa niin paljon, että signaalia on myöhemmissä vaurioissa vaikea havaita. Lisäksi vahvistin näyttää tulokset negatiivisena, mutta tämän voi tarvittaessa korjata vaihtamalla maan ja ulostulojännitteen piuhojen analogi-sisääntulokanavia keskenään Tämän takia otettiin operaatiovahvistimesta jännitteensyöttösyöttö pois. Tämän jälkeen saatiin kuvan 22 mukainen signaali vauriokohdasta.



KUVA 22. Signaali ilman operaatiovahvistimen jännitteensyöttöä

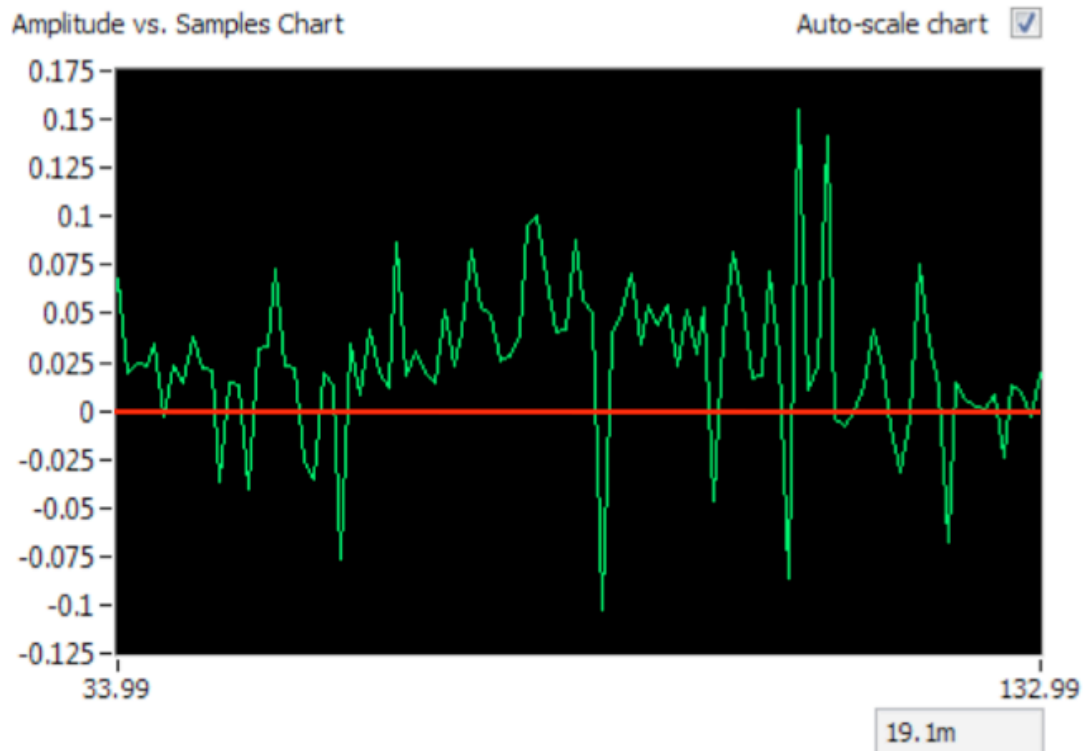
Kuvassa nähdään keskimääräinen signaalin muuttuminen ja nouseminen noin 0,1 amplitudille. Oikeassa reunassa alhaalla näkyy amplitudin viimeisin mitattu arvo, tässä tapauksessa 19,1 m eli 0,0191.

### Toinen vaurioalue

Tämän mittauksen tarkoituksena oli osoittaa, että mittari kykenisi myös näkemään pienempiä vauriokohtia. Tämän pienempiä kohtia ei kyetty testi-ikkunasta havaitsemaan mittauksen aikana.



KUVA 23. Toinen vaurioalue, kapeita viiltoja tehty kuidun pinnoitteeseen



KUVA 24. Toisesta vauriokohdasta mitattu signaali

Signaalista voidaan päätellä, että jos vauriokohtaa liikutettiin valodiodin alta samaa nopeutta kuin ensimmäinen vaurioalue, on tämän vaurio laaja-alaisempi, muttei yhtä sirottava vaurio.

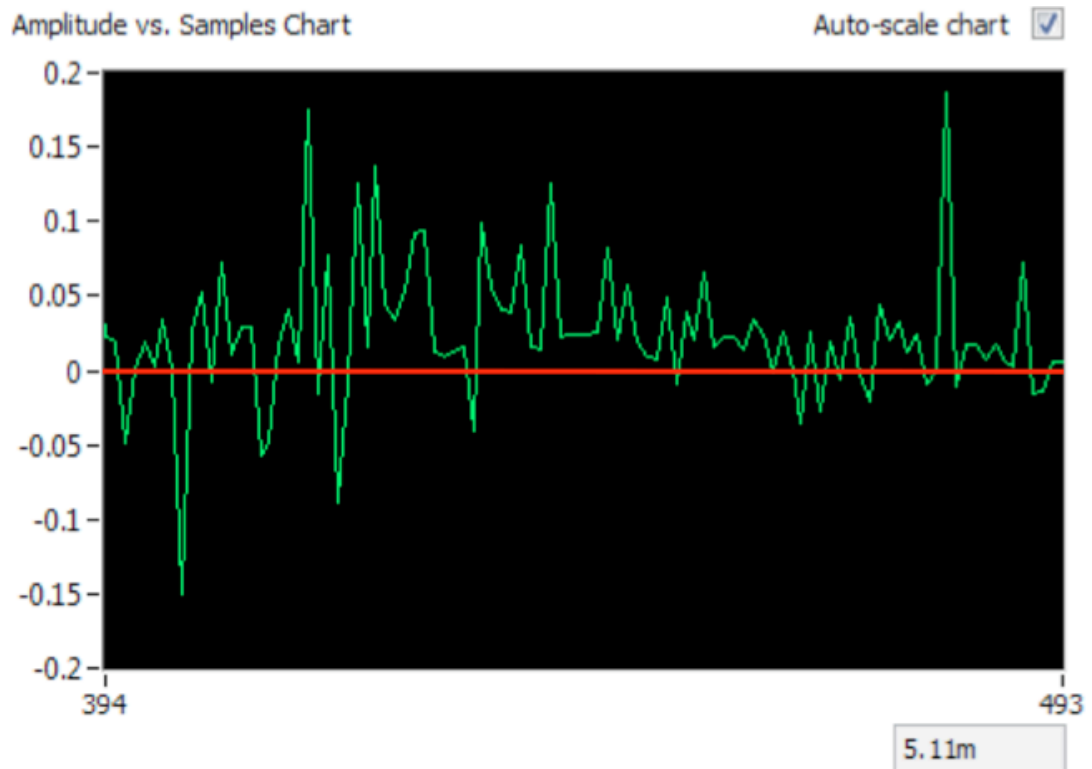
### Kolmas vaurioalue

Tässä mittauksessa pyrittiin todistamaan, että valodiodi kykenee integroivan pallon avulla havaitsemaan myös ne vauriokohdat, joita ei ole suoraan sitä kohti osoitettu.



KUVA 25. Kolmas ja pienin vauriojälki, joka on kaksi viiltoa kuidun alaosaan





KUVA 26. Kolmannesta vauriokohdasta mitattu signaali

Kuvasta 26 voidaan havaita pieni nousu signaalin amplitudista, mutta se on selkeästi tähän mennessä heikoin. Tämä johtuu siitä, että valodiodi havaitsee ainoastaan integroivan pallon sisällä heijastelevaa sirontaa eikä altistu ollenkaan suoralle sironnalle, toisin kuin aiemmissa tapauksissa.

#### 6.4 Yhteenveto testaustuloksista

Opinnäytetyössä rakennettu mittalaite toimi toivotusti. Se kykeni havaitsemaan mittauskohtaan tehdyt vauriot kuitua liikutellessa eikä tuottanut kuidulle huomattavaa vauriota mittauksen aikana. Mittalaite kykenee havaitsemaan myös ne sirontapisteet, jotka eivät ole suoraan kohdistettu sen valodiodille, mutta valon määrä vähenee sen heijastellessa integroivassa pallossa kuitenkin paljon.

Koska kyseessä on liikkuvan kuidun mittaaminen, ei ole mahdollista saada yhtä tarkkoja tuloksia kuin paikallaan mitatusta kuidusta. Mittausikkunaa pienentämällä voitaisiin saada tarkempia tuloksia, mutta kohdistimien siirtäminen lähemmäs toisiaan aiheuttaa esteitä integroivassa pallossa heijastelevalle valolle. Pienentämällä integroivan pallon sisähalkaisijaa saadaan mittausikkunaa tarkemmaksi, jolloin vauriokohdan löytäminen helpottuu.

Ensimmäisessä vauriossa saatiin mittauksen tulokseksi parhaimmillaan 0,1 amplitudimuutos, myöhemmissä mittauksissa saatiin noin 0,05 amplitudimuutos. Taustakohinan määrä kuitenkin vaikeuttaa vaurion havaitsemista. Automaattista skaalausta käytettiin, sillä ennen mittauksen tekemistä ei voitu tietää kuinka suuri tai pieni amplitudin muutos mittauskohdan valomäärän mittauksessa olisi.

Automaattisessa mittauksessa ei satunnaisten mittauksen piikkiarvojen takia voida määrittää arvoa, jolla mittaus keskeytyisi. Pienempien vaurioiden havaitsemiseksi tulisi käyttää 0,5:n raja-arvoa varoituksissa tai kuidun mittauksen pysäyttämässä, mutta valodiodin mittaamat häiriöpiikit nousevat usein tämän arvon yläpuolelle. Tämä aiheuttaisi vääriä varoituksia tai pysäytyksiä.

Testissä käytetty integroivan pallon sisähalkaisija on tuuma. Tällä hetkellä pallon toimintaa häiritsevät kuidun kohdistimet. Pallon iso pinta-ala aiheuttaa signaalin heikkenemistä, joten halkaisijaltaan pienempää palloa voi käyttää, jos mittaustuloksista halutaan tarkempia. Kuitenkin pienempään palloon vaihtaminen aiheuttaisi myös mittausikkunan pienenemisen. Koska mitataan liikkuvaa kuitua, jos mittausikkuna on liian pieni saattaa vauriokohta jäädä kokonaan mittalaitteelta huomaamatta. Mittauksen aikana kohdistimet saattoivat liikkua integroivan pallon sisäpuolelle, jolloin nämä saattoivat aiheuttaa mittaustuloksiin häiriöitä.

Koska kuitua liikutettiin vain tarpeeksi hitaasti ja tarpeeksi pitkältä matkalta, että valodiodi kykeni havaitsemaan vaurion, on vaikea määritellä kuidun nopeutta mittauksen aikana. Kuitenkin jatkuvasti päivittyvien mittaustulosten seuraaminen mittauksen aikana antaa kuvan kuidun eheydestä. Mittari toimii siis suuntaa-antavasti vaurion sijainnin suhteen. Mittajärjestelmää käyttäen mittaja kykenee paikallistamaan vaurion sijainnin ja tarvittaessa keskeyttämään kuidun mittaamisen tarkastellakseen kuitua lähemmin esimerkiksi IR-kiikarilla tai mikro-tason kameralla.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyössä käytettiin pääasiassa Corelase Oy:n varastoissa olevia osia. Opinnäytetyötä varten ostettiin puolijohdelaseria varten kytkin, paristoteline, akku ja vara-akku, sekä laturi akkuja varten.

Toistaiseksi puolijohdelaser on kiinni kelassa ruuveilla. Kuitua tulee pystyä mittaamaan heti, kun se saapuu tehtaalte, joten seuraavaa mittalaitetta rakennettaessa tulee laser ja sen jäähdytyslevy kiinnittää kelaan yksinkertaisesti ja kela vaurioittamatta. Jäähdytyslevy ei kuitenkaan saa irrota mittauksen aikana tapahtuvassa pyörimisliikkeessä eikä tulla kelalta poistuvan kuidun tielle.

Kelalta kelalle -siirrolle on olemassa toimiva automaattinen järjestelmä, jota ei olla sisällytetty tähän työhön budjetin takia. Myös tätä voi hyödyntää mittausjärjestelmässä. Tällöin työntekijän ei tarvitse käyttää aikaa kuidun mittauksessa vaan hän voi työskennellä samalla kun kuitua mitataan. Automatisoidulla järjestelmällä pystytään mittaamaan pitkiä matkoja kuitua tasaisella nopeudella.

Myös itse puolijohdelaser ja sen kytkentä vaativat korjausta. Nykyisellään laserin NA on liian pieni ideaalisen sironnan mittaukselle. NA:ta nostamalla kuidusta karkaa enemmän valoa vauriokohdassa, joka helpottaa kohdan havaitsemista.

Lisäksi tulee tehdä tarvittavat muutokset vahvistukseen. Tässä käytetty vahvistus lisää myös taustakohinaa siinä määrin, että vauriokohdan muutosta on entistä vaikeampi havaita. Mittarille voi myös valita tehokkaamman valodiodin, joka kykenee havaitsemaan pienempiäkin muutoksia sironnassa. Valodiodia valinnassa huomioidaan käytettävän valon aallonpituus.

Haluttaessa voidaan myös ohjelmoida esimerkiksi LabVIEW –ohjelmaa käyttäen ohjelma, joka tallentaa mittaustulokset ja esittää ne helposti tarkasteltavassa muodossa. Automatisoidussa järjestelmässä ohjelman avulla voidaan myös pysäyttää käynnissä oleva mittaus, jos mittalaite havaitsee suurta sironnan määrän muutosta.

## LÄHTEET

Corelase Presentation - diaesitys. Luettu 2015

DAQ-kortin datalehti. Luettu 20.3.2015  
<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/201987>

Farnell, Si-valodiodin BPX65 datalehti. Luettu 4.3.2015  
<http://www.farnell.com/datasheets/1663991.pdf>

Helkama Oy, 2001. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa, 4. painos, 16-18

Inkinen Pentti, Manninen Reijo, Tuohi Jukka, 2.-4. painos 2002/2011. Momentti 2, Insinöörifysiikka

Köngäs, J. 2011. Corelase laser koulutus\_kuitulaser I Luento. Corelase OY:n koulutus-tilaisuus työntekijöille

Köngäs, J. 2011. Corelase laser koulutus\_kuitulaser II Luento. Corelase OY:n koulutus-tilaisuus työntekijöille

Operaatiovahvistimen OP77 tekniset tiedot. Luettu 4.3.2015  
<http://www.analog.com/en/products/amplifiers/operational-amplifiers/high-voltage-amplifiers-greaterthanequalto-12v/op77.html#product-overview>

RP Photonics Encyclopedia, kuidulaser. Luettu 15.5.2015  
[http://www.rp-photonics.com/fiber\\_lasers.html](http://www.rp-photonics.com/fiber_lasers.html)

RP Photonics Encyclopedia, laser. Luettu 15.5.2015  
<http://www.rp-photonics.com/lasers.html>

Sapa Group, eloksointi. Luettu 20.5.2015  
<http://www.sapagroup.com/fi/sapa-profiilit-oy/tarjouksemme/pintakasittely/eloksointi/>

Stout, David F., Kaufman, Milton, 2. painos, 1976. Handbook of Operational Amplifier Circuit Design,

Sze, S.M., 1985. Semiconductor devices physics and technology,

LIITTEET

Liite 1. Piivalodiodin datalehti



High Speed Detectors (BPX65)



The BPX65 family of detectors feature Centronic’s 1mm<sup>2</sup> high speed, high sensitivity chip already successful in a wide variety of applications. The chip can be packaged in various forms suitable for fibre-optic communication, such as the AX65-RF (precisely centred, isolated, low chip to window spacing) a standard 2 or 3 lead TO18 or even epoxy encapsulated. It has also been used for encoder designs and with MIL SPEC release at the heart of advanced laser warning systems.

Electrical / Optical Specifications

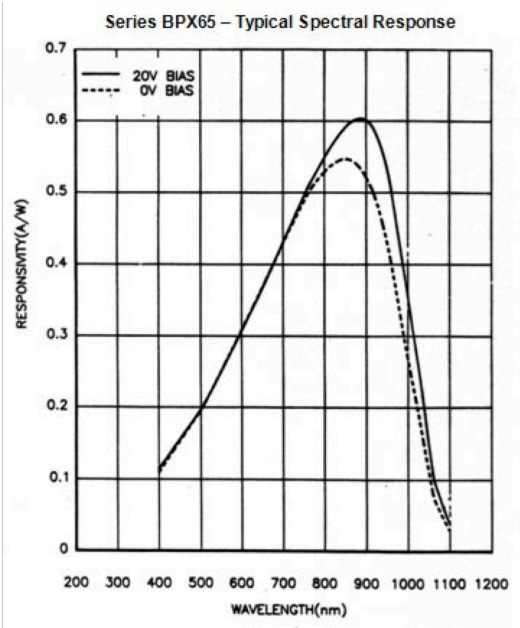
Characteristics measured at 22°C (±2) ambient, and a reverse bias of 12 volts, unless otherwise stated.

Single Elements

Type No.	Active Area		Responsivity A/W λ = 900 nm		Dark Current (nA)		NEP WHz <sup>-1/2</sup> λ = 900 nm Typ.	Capacitance pF		Risetime ns λ = 820 nm RL = 50 Ω Typ.	Package
	mm <sup>2</sup>	mm	Min.	Typ.	Max.	Typ.		Vr=0 V Max.	Vr=20V Max.		
BPX65	1	1 x 1 mm	0.52	0.55	5	1	3.310e-14	20	3.5	3.5	1
BPX65T	1	1 x 1 mm	0.52	0.55	5	1	3.310e-14	20	3.5	13	1
AX65R2F	1	1 x 1 mm	0.52	0.55	5	1	3.310e-14	20	3.5	3.5	2A
BPX65RT	1	1 x 1 mm	0.52	0.55	5	1	3.310e-14	20	3.5	8	2
X65EB	1	1 x 1 mm	0.52	0.52	5	1	3.310e-14	20	3.5	3.5	1B

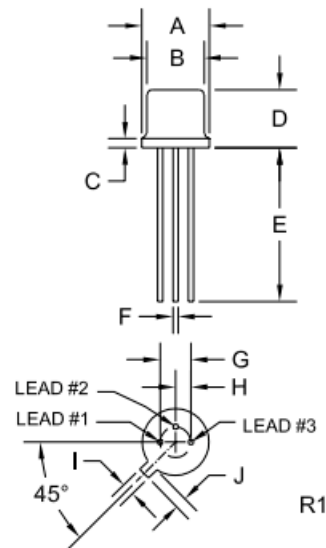
Highlighted items are Centronic standard products generally available from stock

Series BPX Spectral Response Graph



Package Details - TO-18

Mechanical Drawing



DIMENSIONS				
SYMBOL	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A (DIA)	0.209	0.230	5.31	5.84
B (DIA)	0.178	0.195	4.52	4.95
C	-	0.030	-	0.76
D	0.170	0.210	4.32	5.33
E	0.500	-	12.70	-
F (DIA)	0.016	0.019	0.41	0.48
G (DIA)	0.100	-	2.54	-
H	0.050	-	1.27	-
I	0.036	0.046	0.91	1.17
J	0.028	0.048	0.71	1.22

TO-18 (REV: R1)

LEAD CODE:

SCR

- 1) CATHODE
- 2) GATE
- 3) ANODE

\*FET

- 1) SOURCE
  - 2) GATE
  - 3) DRAIN
- or
- 1) SOURCE
  - 2) DRAIN
  - 3) GATE

TRANSISTOR

- 1) EMITTER
- 2) BASE
- 3) COLLECTOR

\* Note: See individual device datasheet for pinout information

Packing Code: D

D = White corrugated box with black conductive coating (surface resistivity of  $<10^5$  ohms per square).

Standard Packing Quantity: 2K

2 (2)

# Material Composition Specification

## TO-18 Case



Device average mass ..... 312.4 mg  
 Fluctuation margin ..... +/-10%

Component	Material	Material		Substance	CAS No.	Substance		
		(%wt)	(mg)			(%wt)	(mg)	(ppm)
active device	doped Si	1.6%	5.0	Si	7440-21-3	1.6%	5.0	16,004
bond wire	Al alloy	0.125%	0.39	Al	7429-90-5	0.122%	0.38	1,216
				Si	7440-21-3	0.003%	0.01	32
header	Kovar (Fe/Ni/Co alloy)	58.8%	183.71	Fe	7439-89-6	22.161%	69.236	221,615
				Ni	7440-02-0	14.511%	45.334	145,108
				glass	Proprietary	13.444%	42	134,436
				Co	7440-48-4	7.808%	24.392	78,075
				Mn	7439-96-5	0.217%	0.677	2,167
				P	7723-14-0	0.18%	0.561	1,796
				Si	7440-21-3	0.13%	0.406	1,300
				Ag	7440-22-4	0.23%	0.72	2,305
				C	1333-86-4	0.21%	0.067	214
				Cu	7440-50-8	0.09%	0.28	896
can	alloy	36.81%	114.99	S	7704-34-9	0.013%	0.041	131
				Fe	7439-89-6	36.698%	114.65	366,979
				C	1333-86-4	0.017%	0.052	166
				Mn	7439-96-5	0.074%	0.23	736
can plating (inner layer)	nickel	1.06%	3.32	Al	7429-90-5	0.019%	0.06	192
can plating (outer layer)	matte tin**	1.44%	4.5	Ni	7440-02-0	1.06%	3.32	10,627
lead free termination plating*	matte tin**	0.16%	0.5	Sn	7440-31-5	1.44%	4.5	14,404
				Sn	7440-31-5	0.16%	0.5	1,601

\*For Lead Free termination plating, add suffix "LEAD FREE" to part number.

\*\*Contact the Central Semiconductor Sales Department for tin/lead plating availability.


### Disclaimer

The information provided in this Material Composition data sheet is, to the best of our knowledge, correct. However, there is no guarantee to completeness or accuracy, as some information is derived from data sources outside the company.

R2 (25-November 2014)

[www.centraisemi.com](http://www.centraisemi.com)

Liite 3. DAQ-kortin datalehti, yleiskatsaus



Technical Sales

(866) 531-6285  
orders@ni.com


Requirements and Compatibility | Ordering Information | Detailed Specifications

For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2014-11-06 07:14:12.0

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB

12- or 14-Bit, Up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs



- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- One 32-bit, 5 MHz counter

- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Overview

With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications. The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost DAQ devices with easy screw connectivity and a small form factor. With plug-and-play USB connectivity, these devices are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

Back to Top

Requirements and Compatibility

OS Information

- Mac OS X
- Windows 2000/XP
- Windows 7
- Windows CE
- Windows Mobile
- Windows Vista 32-bit
- Windows Vista 64-bit

Driver Information

- NI-DAQmx
- NI-DAQmx Base

Software Compatibility

- ANSI C/C++
- LabVIEW
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio
- SignalExpress
- Visual Basic .NET
- Visual C#

Back to Top

Comparison Tables

Product	Analog Inputs	Input Resolution	Max Sampling Rate (kS/s)	Analog Outputs	Output Resolution	Output Rate (Hz)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Triggering
USB-6008	8 single-ended/4 differential	12	10	2	12	150	12	1	Digital
USB-6009	8 single-ended/4 differential	14	48	2	12	150	12	1	Digital

Back to Top



Liite 4. DAQ-kortin datalehti, yksityiskohtaiset tiedot

Detailed Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

Analog Input	
Converter type	Successive approximation
Analog inputs	8 single-ended, 4 differential, software selectable
Input resolution	
NI USB-6008	12 bits differential, 11 bits single-ended
NI USB-6009	14 bits differential, 13 bits single-ended
Max sampling rate (aggregate) <sup>1</sup>	
NI USB-6008	10 kS/s
NI USB-6009	48 kS/s
AI FIFO	512 bytes
Timing resolution	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Single-ended	±10 V
Differential	±20 V <sup>2</sup> , ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2 V, ±1.25 V, ±1 V
Working voltage	±10 V
Input impedance	144 kΩ
Overvoltage protection	±35
Trigger source	Software or external digital trigger
System noise <sup>3</sup>	
Single-ended	
±10 V range	5 mVrms
Differential	
± 20 V range	5 mVrms
±1 V range	0.5 mVrms

## Liite 5. Puolijohdelaserdiodin datalehti

  
 BMU8\_915\_01\_R

  
 HL140149.001



Time and Date	20120303080508					
Serial Number	HL140149.001					
Product Code	BMU8_915_01_R					
Temperature	25	35				°C
Threshold Current	0.46	0.47				A
Rated Power	8	8				W
Operating Current @ 8.00W	8.9	9.3				A
Operating Voltage @ 8.00W	1.9	1.9				V
Center Wavelength @ 8.00W	915.82	919.2				nm
Spectral width (-13 dB) @ 8.00W	6.25	6.06				nm

